FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1962

THÈSE n° 664

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ETAT

PAR

Alain J. LAUGIER

Interne des Hôpitaux de Paris

Licencié es Sciences

Né le 10 Avril 1930 à Paris XVIII°

Présentée et soutenue publiquement le

LE RISQUE RADIOLOGIQUE

Président : Mr. Jean BERNARD, Professeur.

EDITIONS A. G. E. M. P. — 8, RUE DANTE - PARIS-V^e

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1962

THÈSE

n°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLOME D'ETAT

PAR

Alain J. LAUGIER

Interne des Hôpitaux de Paris

Licencié es Sciences

Né le 10 Avril 1930 à Paris XVIII°

Présentée et soutenue publiquement le

LE RISQUE RADIOLOGIQUE

Président : Mr. Jean BERNARD, Professeur.

EDITIONS A. G. E. M. P. — 8, RUE DANTE - PARIS-V^e

R. BIN'K
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

1-2-1962

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouanine (T.), Aubin (A.), Bénard (H.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Chabrol (E.), Champy (C.), Debré (R.), Fey (B.), Gastinel (P.), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Lantuejoul (P.), Laroche (G.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Mathieu (P.), Mocquot (P.), Mondor (H.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Olivier (E.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D), Quénu (J.), Richet (C.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.).

DOYEN . . . . . Léon BINET.
Membre de l'Institut

1er ASSESSEUR . . . . . Jean VERNE
2e ASSESSEUR . . . . . Gaston CORDIER

I. — PROFESSEURS

1° CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.) / SCHAPIRA (G.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Embryologie	GIROUD (A.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie (Lariboisière)	N...
Histologie	VERNE (J.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	PIEDELIÈVRE (R.)
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)
Parasitologie	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	HUGUIER (J.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	MILLIEZ (P.)
Pathologie respiratoire	TURIAF (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	BOUDIN (G.)
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BINET (L.) / BARGETON (D.)
Physiologie et pathologie obstétricale	LEPAGE (F.)
Physique médicale	DOGNON (A.) / DJOURNO (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	N...
Thérapeutique	CONTE (M.)

b) Professeurs à titre personnel :

Biochimie médicale	DESGREZ (P.) / POLONOVSKI (J.)
Biologie médicale	BOURLIÈRE (F.)
Embryologie	TUCHMANN (H.)
Hygiène et médecine préventive	DEPARIS (M.)
Parasitologie	BRUMPT (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
Pharmacologie	LÉVY (Mlle J.)
Physiologie	PARROT (J.)
Physique médicale	KELLERSHOHN (L.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)	MOUQUIN (M.)
Cliniques chirurgicales — Beaujon	LORTAT-JACOB (J.-L.)
Cliniques chirurgicales — Cochin	LEGER (L.)
Cliniques chirurgicales — Hôtel-Dieu	PATEL (J.)
Cliniques chirurgicales — Pitié	CORDIER (G.)
Cliniques chirurgicales — Saint-Antoine	GOSSET (J.)
Cliniques chirurgicales — Salpêtrière	SICARD (A.)
Cliniques chirurgicales — Tenon	OLIVIER (Cl.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants Malades)	FÈVRE (M.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)	MERLE d'AUBIGNÉ (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	GAUDART d'ALLAINES (F. de)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laennec)	MATHEY (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	DECOURT (J.)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)	LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)	FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DEGOS (R.)
Clinique des maladies des Enfan's (Enfants-Malades)	CATHALA (J.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DELAY (J.)
Cinique des maladies métaboliques (Necker)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)	MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	CASTAIGNE (P.)
Cliniques médicales — Boucicaut	LENÈGRE (J.)
Cliniques médicales — Broussais	SOULIÉ (P.)
Cliniques médicales — Cochin	JUSTIN-BESANÇON (L.)
Cliniques médicales — Cochin	BROUET (G.)
Cliniques médicales — Hôtel-Dieu	BARIÉTY (M.)
Cliniques médicales — Lariboisière	SÈZE (S. de)
Cliniques médicales — Pitié	DREYFUS (G.)
Cliniques médicales — Saint-Antoine	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)	DEBRAY (C.)
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	GENNES (L. de)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)	DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)
Cliniques obstétricales — Baudelocque	LACOMME (M.)
Cliniques obstétricales — Foch (Suresnes)	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	LELONG (M.)
Clinique de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	MARIE (J.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laennec)	BERNARD (E.)
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgixale (Vaugirard)	ROUX (M.)
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique toxicologique	GAULTIER (M.)
Clinique traumatologique	PADOVANI (P.)
Séméiologie médicale	DOMART (A.)
Séméiologie et clinique chirurgicales	POILLEUX (F.)
Clinique urologique (Necker)	COUVELAIRE (R.)
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	TURPIN (R.)

b) Professeurs à titre personnel :

Médecine	BOUR (H.)
Médecine	LHERMITTE (F.)
Médecine	PEQUIGNOT (H.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAITRES DE CONFÉRENCES - AGRÉGÉS

	MM.
Anatomie	CABROL (C.) COUINAUD (C.) GILLOT (C.) OLIVIER (G.)
Anatomie pathologique	GAUTHIER-VILLARS (Mlle P.) pr. s. ch. ABELANET (R.) BUSSER (F.) CHOMETTE (G.)
	GOUYGOU (Ch.), m. conf. NEZELOFF (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)
Anesthésiologie	KERN (E.) VOURC'H (G.)
Bactériologie	BARBIER (P.) CHRISTOL (D.) LE MINOR (L.) TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	BADLIEU Et. m. conf. BOURILLON (R.) CARTIER (P.) DREYFUS (J.-Cl.) GONNARD (P.) KRUH (J.) JEROME (M.)
Biologie appliquée à l'Education Physique et aux Sports	PLAS (F.)
Carcinologie	BOIRON (M.) DENOIX (P.) MATHE (G.) SELIGMANN (M.,
Dermato-Syphiligraphie	CIVATTE (J.) DUPERRAT (B.)
Electro-Radiologie	LEDOUX-LEBARD (G.)
Hématologie	BESSIS (M.) BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.) DUHAMEL (G.)
Histologie	COUJARD (R.), pr. s. ch. MAROIS (M.) RACADOT (J.)
Hydrologie	BESANÇON (F.) CORNET (A.)
Hygiène	BOYER (J.) pr. s. ch. BLANCHER (G.) CORRE-HURST (Mme L.) SAPIN-JALOUSTRE (H.)
Maladies infectieuses	BASTIN (R.) DUPONT (V.)
Médecine légale	DERCBERT (L.), pr. s. ch. FOURNIER (E.) GUENIOT (M.) HADENGUE (A.)
Médecine du travail	ALBAHARY (C.)
Neuro-chirurgie	PERTUISET (B.)
Obstétrique	GRANJON (A.) HERVET (E.) LE LORIER (G.) LEVY (J.) MORIN (P.) MUSSET (R.) ROBEY (M.) SENEZE (J.) SUREAU (C.) THOYER-ROZAT (J.)
Ophtalmologie	BRÉGEAT (P.) DUBOIS (A.) SARAUX (H.)

	MM.
Orthopédie	JUDET (R.) MEARY (R.) POSTEL (M.) RAMADIER (J.)
Oto-rhino-Laryngologie	DEBAIN (J.) PIALOUX (P.)
Parasitologie	GOLVAN (Y.) LAPIERRE (J.)
Pathologie chirurgicale	BARCAT (J.) BINET (J.-P.) CAUCHOIX (J.) CERBONNET (G.) CHATELIN (C.-L.) DUBOST (Ch.) DUBOST (Cl.) FAUREL (J.) FLABEAU (F.) GARBAY (M.) GARNIER (H.) (Cl. de) GAUDART-d'ALLAINES GERMAIN (A.) LATASTE (J.) LEVEQUE (B.) LOYGUE (J.) MERCADIER (M.) NATALI (J.) PELLERIN (D.) PERROTIN (J.) ROBERT (H.) THOMERET (G.)
Pathologie exotique	SCHNEIDER (J.)
Pathologie expérimentale	BENHAMOU (J.-P.) BERTHAUX (P.) BOIVIN (P.) CROSNIER (J.) HARTMANN (L.) LŒPER (J.) MAURICE (J.) MIKOL (Cl.) RICHET (G.)
Pathologie médicale	AUSSANNAIRE (M.) BOUVIER (J.) BOUVRAIN (Y.) BRICAIRE (H.) BRISSAUD (H.) BROCARD (H.) BUGE (A.) CATINAT (J.) CHRÉTIEN (J.) COBLENTZ (B.) CONTAMIN (F.) COURY (C.) ÉTIENNE (J.-P.) FREZAL (J.) FRITEL (D.) HENNEQUET (A.) HIMBERT (J.) HOUSSET (E.) LAROCHE (Cl.) LESOBRE (R.) MACREZ (C.) MOREAU (L.) NICK (J.) ROYER (P.) TOURNEUR (R.) WOLFROMM (R.)
Pédiatrie-Puériculture	JOSEPH (R.) LAFOURCADE (J.) LEPERCQ (G.) MANDE (R.) MOZZICONACCI (P.) POLONOVSKI (C.) ROSSIER (A.) VIALATTE (J.)

	MM.
Pharmacologie	BOISSIER (J.) LECHAT (P.)
Physiologie	BARRES (G.) DEJOURS (P.) DURAND (J.) GIRARD m. conf. HUGELIN (A.) SCHERRER (J.)
Physique médicale	CHANTEUR (J.) GOUGEROT (L.), m. conf. pr. s. ch. GREMY (F.) m. conf. MILHAUD (G.) PELLERIN (P.) ROUCAYROL (J.-Cl) TUBIANA(M.) m.conf.
Pneumo phtisiologie	KREIS (B.) MEYER (A.) RENAULT (P.)

	MM.
Psychiatrie	PICHOT (P.)
Psychiatrie infantile	DENIKER (P.) DUCHE (D.) FLAVIGNY (H.) LAPRESLE (J.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)
Stomatologie	CERNEA (P.) CHAPUT (Mme A.) m. c. agr. GRELLET (M.)
Thérapeutique	CHASSAGNE (P.) LAMOTTE (M.) MARCHE (J.)
Urologie	AUVERT (J.) MOULONGUET (A. QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent.

	MM.
Anatomie	DEBEYRE (J,)
Clinique chirurgicale	ABOULKER (P.) AMFLINE (A), pr. s. ch. VERNE (J.-M.)
Clinique médicale	PERRAULT (M.) RAMBERT (P.) THIEFFRY (S.)
Clinique obstétricale	GRASSET (J.) MAYER (M.)

	MM.
Clinique ophtalmologique	DESVIGNES (P.) OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique	MADURO (R.)
Clinique pédiatrique et puériculture	LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique	BARUK (H.)
Clinique urologique	KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie . . . . . HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.

Pathologie chirurgicale . . . . . RUDLER (J.) Pr. s. ch.

V. - CHARGÉS DE COURS D'HYGIÈNE SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE

BOLTANSKI (E.)
LAUNAY (C.)

Secrétaire général de la Faculté . . . . . M. LENA (J.)

Secrétaire principal . . . . . Mlle CHAINTREUIL (G.)

Conservateur en Chef de la Bibliothèque .
Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine . . . . . M. le Docteur HAHN (A.)

Conservateur . . . . . Mlle DUMAITRE (P.)

Bibliothécaires . . . . . Mmes CONTET (J.), FORGET (F.),
Mlles LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A ma Mère

A mes maîtres

Jean BERNARD

Henri PEQUIGNOT

Jacques LEFEBVRE

Ils m'ont appris l'hématologie, la médecine et la radiologie ; la clarté, le raisonnement et la rigueur.

En témoignage de respectueuse affection.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538117_0013

REMERCIEMENTS - Cette thèse doit beaucoup à tous ceux qui m'ont appris la médecine au cours de mes fonctions hospitalières.

Pendant mon externat : Paul FUNCK-BRENTANO
Gabriel LAURENCE
Léon MICHAUX
Paul CASTAIGNE
Henri BENARD
André LAMBLING

Pendant mon internat à la Région de Paris :

Lucien DAVID
Pierre DELAFONTAINE (in memoriam)

Pendant mon externat en premier :

Jacques MARCHAND (in memoriam)
Robert COLIEZ

Pendant mon internat en premier :

Jean SURMONT
Félix DUPERRAT
Jean BERNARD
Jacques BOURDON
Jacques LEFEBVRE
Stanislas de SEZE

A ceux qui, dans ces services, ont été mes assistants, mes internes et mes collègues

A mes conférenciers d'externat et d'internat : André LAURAS - Jean NATALI - Michel ETIENNE - Jean BEDOUELLE - Jean CAMBIER - André TETU

A mes amis de la sous-colle

A mes élèves de conférences d'internat

Elle est dédiée à ceux qui m'ont fait découvrir la radiologie et, en particulier : Michel BARD - Daniel CHASSAGNE - Pierre CHAUMONT - J. DESPREZ-CURELY - Albert DJIAN - les DUTREIX - Clément FAURE - F. FORTIER-BAULIEU - Ed. GUY - LALANNE - André LOISEAU - Henri NAHUM - Roger PEREZ - Bernard PIERQUIN - Jacques SAUVEGRAIN - Gabriel VALLEE et quelques autres,

Elle est un hommage fidèle à ces incomparables et si attachants assemblages humains faits d'amitié, d'estime et d'affection que sont les équipes :

- du Département des Radiations de l'Institut Gustave-Roussy,
- du Centre de Rhumatologie Viggo-Petersen de l'Hôpital Lariboisière,
- du Service de Radiologie des Enfants-Malades,
- et à l'Hôpital St-Louis, celles du Centre de Recherches sur les maladies du sang et du Service de Radiologie.

Ce travail porte aussi la marque de ceux qui, sur les marches de la médecine, m'ont initié à la recherche biologique et médico-sociale.

- A mes maîtres en Sorbonne,
- A mes maîtres à l'Institut d'Etudes Politiques de Paris,
- A l'équipe du Concours Médical et du Centre de Sociologie et de Démographie Médicale,
- A l'équipe médicale du Centre de Recherches et de Documentation sur la Consommation.

INTRODUCTION

Cette thèse est une revue générale sur le risque dû aux examens radiologiques, qu'il s'agisse des radiations ou des produits de contraste. Elle nous a été suggérée dès 1959 par notre maître Maurice TUBIANA.

Elle sert de prélude à un travail en cours sous la direction de notre maître, Jacques LEFEBVRE, concernant le risque couru par les enfants et, notamment, les nourrissons, au cours des examens radiologiques importants :

- Les premiers résultats en ont été présentés dans notre mémoire de Certificat de Radiologie ("Contribution à l'étude de l'irradiation des nourrissons lors de l'examen radiologique de leur estomac").

- Le premier dépouillement d'une enquête portant sur 16.000 examens importants (abdomen sans préparation, urographie, cystographie, estomac, grêle, colon) effectués chez l'enfant depuis 1953 aux Enfants-Malades et à Bretonneau, sera présenté au 10° Congrès International de Radiologie (Montréal, 28 Août - 4 Septembre 1962).

Grâce à un contrat de recherches passé entre le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.) et l'Institut National d'Hygiène (I.N.H.), une étude plus vaste est en cours d'exécution qui se propose deux buts :

1°) - Mesurer les doses reçues par les enfants au cours de ces examens importants. Les dosimètres Philipps et PTW depuis peu en fonctionnement aux Enfants-Malades, permettront de mieux évaluer les doses intégrales absorbées.

2°) - Suivre les enfants ayant subi un ou plusieurs examens importants avant l'ère des amplificateurs de brillance. Ils constituent une population privilégiée sur le plan de la radiobiologie. Près de 45.000 examens importants ont été pratiqués depuis 1953 dans les sept hôpitaux d'enfants parisiens et lyonnais. Une population d'au moins 8.000 enfants ayant été hospitalisés et dont on connaît exactement l'état-civil pourra être suivie par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (I.N.S.E.E.), par les services de pédiatrie et d'hématologie.

Vers 1970, on pourra alors se faire une opinion sur le risque radiologique couru par les enfants et les nourrissons examinés dans quelques hôpitaux français avec les techniques des années 1953-1961.

Dans ce travail, nous montrerons que le risque dû aux radiations existe peut-être, qu'il est négligeable, que celui dû aux opacifiants est imprévisible, et surtout que l'amélioration de nos techniques radiologiques et la découverte de nouveaux produits de contraste rendront ce risque encore plus léger dans les années à venir.

L'expansion de la radiologie pourra donc se poursuivre sans inconvénients pour le malade et la collectivité, grâce à ces précautions.

LE RISQUE RADIOLOGIQUE

CHAPITRE I - L'EXPANSION DE LA RADIOLOGIE MEDICALE 9

A - La consommation radiologique - Nos moyens de la mesurer 9

B - La consommation radiologique en France - Son expansion globale 12

C - La consommation radiologique - variations selon les secteurs et les régions 14

D - Le niveau moyen de consommation - comparaisons et perspectives 19

CHAPITRE II - PROBLEMES DE DOSIMETRIE EN RADIODIAGNOSTIC 25

A - Le développement théorique d'un examen radiologique 25

B - Le déroulement pratique de l'examen 27

C - Les unités de dosimétrie 27

D - L'absorption des rayons du diagnostic 29

E - Le rayonnement émergent : la dose d'exposition au film 31

F - La dose absorbée en profondeur 32

G - La dose intégrale absorbée 36

H - Dosimétrie pratique du radiodiagnostic 37

CHAPITRE III - LES DOSES DE RADIATIONS LORS DES PRINCIPAUX EXAMENS RADIOLOGIQUES 40

A - Classement des différents types d'examens 41

B - L'examen radiologique du poumon 43

C - La radiologie digestive 48

D - Les examens du petit bassin 51

E - Les autres examens courants 53

F - Cas particulier du foetus et de l'enfant 55

G - Les explorations isotopiques 58

H - L'irradiation du personnel médical 60

CHAPITRE IV - L'IRRADIATION DE LA MOELLE OSSEUSE - LES RADIOLEUCOSES 62

A - Rappel des notions d'épidémiologie concernant les leucoses 63
B - Caractères généraux des enquêtes 65
C - Arguments cliniques concernant les radioleucoses humaines 73
D - Place et rôle des radiations ionisantes dans la genèse des leucoses 87

CHAPITRE V - L'IRRADIATION DES ORGANES SENSIBLES - LES RADIOCANCERS 93

A - Fréquence des tumeurs malignes chez les sujets irradiés 94
B - Cancers de la thyroïde et irradiation 95
C - Les lésions dues au thorothrast 98
D - Les tumeurs osseuses 100
E - Autres cancers en relation avec les radiations 101
F - L'extrapolation aux faibles doses 103

CHAPITRE VI - L'IRRADIATION DE L'ORGANISME - AUTRES EFFETS SOMATIQUES 105

A - Lésions oculaires et cataractes 107
B - L'irradiation de l'embryon 109
C - Le raccourcissement de la longévité 112

CHAPITRE VII - LE RISQUE GENETIQUE 119

A - Le problème des radiomutations 119
B - Les enquêtes menées chez l'homme 121
C - La dose de dédoublement 125

CHAPITRE VIII - LA DIMINUTION DU RISQUE DU AUX RADIATIONS 129

A - La protection des organes critiques 130
B - La réduction de la dose d'exposition 133
C - La réduction de la dose intégrale 135
D - Le recueil de l'image 137

CHAPITRE IX - LE RISQUE LIE AUX PRODUITS DE CONTRASTE 143

A - Différentes variétés d'opacifiants - leur évolution 144
B - Les risques de l'urographie intraveineuse 149
C - Le risque des angiographies 150
D - Complications diverses 152

CHAPITRE X - RISQUE RADIOLOGIQUE, RISQUE MEDICAL ET AUTRES RISQUES 157

A - L'irradiation globale de l'humanité - place de la radiologie médicale 160
B - Valeur du radiodiagnostic - son rendement 170
C - Risques médicaux et risques de la vie moderne 176
D - Autres aspects du risque radiologique 179

CONCLUSIONS 183

ANNEXE : Enquête en cours sur le devenir des enfants ayant subi des examens radiologiques importants 185

BIBLIOGRAPHIE 191

CHAPITRE I - L'EXPANSION DE LA RADIOLOGIE MEDICALE -

Jusqu'à la première guerre mondiale, la radiologie est dans sa préhistoire. Entre les deux guerres, c'est son moyen-âge.

Les temps modernes ne commencent pour elle qu'après la seconde guerre mondiale et c'est surtout depuis 1955 qu'elle atteint, dans les pays économiquement développés, un niveau général tel que tous les habitants peuvent bénéficier des prodigieux renseignements qu'elle est susceptible de fournir.

Spécialité en pleine croissance, le radiodiagnostic s'émerveille de la précision des informations qu'il donne, des multiples champs de la médecine auxquels il appartient et qu'il enrichit, mais ne commence qu'à peine à prendre conscience de son expansion et de ses conséquences sur l'organisation de la discipline.

"Le radiodiagnostic participe à une meilleure connaissance de la médecine et du malade (J. LEFEBVRE)" et son expansion n'est qu'un des aspects les plus brillants de la rapide expansion de la médecine sous toutes ses formes et de sa complexité croissante.

A - LA CONSOMMATION RADIOLOGIQUE : NOS MOYENS DE LA MESURER.

Les biens et services médicaux sont des denrées consommables au sens économique du terme et la "consommation médicale" (H. PEQUIGNOT) est mesurable en termes statistiques et analysable d'une manière scientifique.

De tous les postes de consommation des ménages français, la consommation médicale est celle qui croît le plus vite puisque, en 1950, elle représentait 4,7 % du total de la consommation territoriale et qu'en 1958, elle en représente 7,3 %. Elle a cru de 8,5 % par an tandis que la consommation nationale augmentait seulement de 5 à 6 %.

A l'intérieur de la consommation médicale, un poste spécifique "la consommation radiologique" (RÖSCH) est individualisable et représente un bon indicateur de progrès technique.

En France, nos sources d'informations statistiques sont assez nombreuses et, par recoupement, permettent une description assez satisfaisante de la consommation radiologique et de son expansion.

Tout acte de radiologie médicale, en effet, nécessite :

a) - un générateur de radiodiagnostic,

b) - dans la majorité des cas, un film radiographique,

c) - quatre fois sur cinq au moins, le remboursement par une collectivité de tout ou partie du coût de l'acte, c'est-à-dire laisse une trace comptable.

Si l'étude du parc radiologique français n'est qu'ébauchée et ne peut guère fournir de renseignement sur l'usage qu'on en fait, les données statistiques sur la vente des films radiographiques et sur le remboursement des actes de radiologie par les organismes de Sécurité Sociale, permettent de bien mesurer l'expansion de la radiologie.

Des sondages faits à Bordeaux en 1957 (REBOUL), à l'hôpital Bichat et auprès de la Caisse de Prévoyance de la S.N.C.F. (RÖSCH) donnent une idée de la structure de la consommation, tandis que l'enquête faite par le Ministère de la Santé Publique auprès des hôpitaux, en 1958, et les renseignements que nous a aimablement fournis l'Assistance Publique à Paris, précisent la place relative de la radiologie hospitalière et de la radiologie en ville.

Quelques enquêtes menées à l'étranger sur les recommandations des Commissions de l'O.N.U. et de la C.I.P.R. chargées d'évaluer les risques génétiques que courent les populations du fait de l'exposition aux radiations ionisantes, donnent une idée de la consommation radiologique dans d'autres pays, mais si elles donnent une description de sa structure, elles donnent peu de chiffres sur son rythme d'expansion.

Aux Etats-Unis, BROWN étudie la consommation d'actes radiologiques des 110.000 assurés du "Kaiser Fondation Health Plan" en Californie en 1956 et 1957. NORWOOD décrit celle d'une petite ville américaine (Richland, Wa). LILIENFELD, celle de Buffalo (N.Y.) et BLATZ, celle de New York.

En Allemagne, HOLTHUSEN recense pendant un an les 1.142.000 examens dont ont bénéficié en 1958, les 1.797.000 habitants de Hambourg, tandis que SEELENTAG étudie un échantillon de dix hôpitaux.

En Suisse, ZUPPINGER recense, en 1958, 5.018.000 examens consommés par 5.160.000 habitants et MARTIN, 4.600.000 examens en Australie.

BIAGINI étudie 27.000 examens pratiqués dans les hôpitaux de Rome en 1957.

HAMMER-JACOBSEN étudie ceux de Copenhague, LARSSON ceux de Suède.

La meilleure enquête nationale est celle du Royaume-Uni : deux sondages sur une semaine ont été opérés dans l'ensemble des hôpitaux et dispensaires du pays, du 29 Avril au 5 Mai 1957 et du 2 au 9 Décembre 1957.

Un langage commun est encore à trouver entre toutes ces statistiques : la dose population génétiquement efficace est jusqu'à présent le seul indice global comparatif. Destiné à apprécier la contribution de la radiologie médicale à l'irradiation du génôme de l'humanité, il ne renseigne pas sur le

niveau réel de consommation radiologique et sur son taux de croissance dans les différents pays.

B - LA CONSOMMATION RADIOLOGIQUE EN FRANCE : SON EXPANSION GLOBALE.

La consommation radiologique pourrait être idéalement suivie par des sondages annuels auprès de la population française. Une manière indirecte de la suivre est d'étudier les remboursements des actes radiologiques consommés par les assurés sociaux et les films radiographiques vendus. On possède maintenant des séries homogènes sur une période de dix ans.

1) - La consommation en "E R K" des assurés sociaux du régime général.

Avec leurs ayant-droits, les assurés sociaux du régime général du Commerce et de l'Industrie sont environ 26 millions, soit 65 % de la population française.

A chaque examen radiologique est attribuée une valeur d'après la nomenclature des actes professionnels. Il faut distinguer deux périodes :

a) - De 1945 à Juin 1960, les différents actes d'électroradiologie sont cotés d'après la lettre-clé ERK, allant de ERK 2 pour la radioscopie pulmonaire à ERK 40 pour l'examen de l'estomac.

Dans les bilans comptables des Caisses, les actes en ERK étaient jusqu'en 1956 confondus avec les autres actes cotés en K, mais des sondages montraient que la place relative des actes en ERK parmi les K augmentait régulièrement : 49 % en 1952, 53 % en 1958.

A partir de 1956, les Caisses de Sécurité Sociale commencent à ventiler à part les dépenses cotées en ERK, ce qui permet une évaluation plus précise.

D'après REBOUL, à Bordeaux, les actes en ERK se répartissent en :

- radiographies 66 %
- radioscopies 7 %
- radiothérapie 18 %
- électrothérapie 7 %
- électrodiagnostic 2 % du total des ERK.

b) - Depuis Juillet 1960, une nouvelle nomenclature des actes est en vigueur. Les actes d'électroradiologie sont démembrés en :

- actes de radiologie proprement dits : diagnostic et thérapie, nettant en jeu les radiations ionisantes, cotés en R (y compris les radios dentaires).
- actes d'électrothérapie cotés en KR,.
- actes d'électrodiagnostic retrouvés en neuropsychiatrie (cotés K.NPSY) et en divers (K.DIV). Le raccordement des séries se fait en admettant que 100 ERK = 91 R, valeur trouvée dans les hôpitaux de Paris et à la S.N.C.F.

Des bilans comptables des Caisses, exprimés en francs, on extrait les actes en ERK ou R d'après le tarif de remboursement qui varie selon les départements et selon que le malade présente ou non une affection de longue durée (remboursement à 80 % et 100 %).

Après correction, on arrive à un nombre de lettre-clés. Leur moyenne mensuelle pour les actes de radiologie remboursés par le régime général passe de 2.514.000 ERK en 1951 à 6.150.000 ERK en 1960, soit une expansion supérieure à 13 %, par an.

Par tête d'assuré social, le nombre moyen d'ERK passe de 4,4 par an, en 1956, à 5,1 en 1958. Entre 1951 et 1958, l'accroissement par tête est de 100 %.

Le nombre moyen d'ERK par examen radiologique effectué en ville ou dans les hôpitaux, à titre externe, est de 18,5 environ pour l'ensemble de la France, soit 0,28 examen par assuré (ayants-droit compris) et par an. Mais il s'agit là des seuls examens ayant donné lieu à un remboursement dans le cadre de l'assurance-maladie et ne tient pas compte des examens de dépistage.

2) - La consommation de films radiographiques.

La production disponible en France de films radiographiques augmente rapidement d'année en année. En 1957, elle s'élevait à 1.710.000 m2. Entre 1949 et 1960, elle a quadruplé.

En exprimant cette production à usage national par l'indice 100 en 1953, elle s'exprime par 54,3 en 1949 et 205,2 en 1960.

La surface de films consommée par habitant s'élève à 0,0415 m2, chiffre très proche de celui du Royaume-Uni (0,0407 m2).

C - LA CONSOMMATION RADIOLOGIQUE : VARIATIONS SELON LES SECTEURS ET LES REGIONS.

La croissance de la consommation radiologique n'est pas régulière selon les régions. Les documents existant permettent d'étudier séparément la radiologie de ville dont bénéficient les assurés sociaux et la radiologie de l'ensemble des hôpitaux.

1) - La radiologie hospitalière.

La surface de films radiographiques consommée par les hôpitaux en 1957 se répartissait ainsi, selon les établissements, en milliers de m2 :

- Assistance Publique à Paris	222
- 23 Centres hospitaliers régionaux	402
- 68 Centres hospitaliers	119
- 449 hôpitaux	150
- Etablissements antituberculeux	73
- Hôpitaux psychiatriques	5
Total des hôpitaux	971

Sept ans avant, en 1950, la consommation était de 348.000 m2 seulement. Si l'on prend la base 100 en 1957, on constate que la consommation de films dans ces mêmes établissements était :

- en 1938 de 10,2
- en 1950 de 45,1
- en 1953 de 67,2, soit un décuplement en vingt ans, un doublement pour les sept dernières années. L'accroissement s'est fait au même rythme exactement dans chacune des catégories d'établissements.

L'importance des examens pratiqués dans chaque catégorie d'établissements peut s'évaluer, d'après la valeur moyenne en ERK ou la surface moyenne de films.

On constate une progression régulière de ces valeurs en passant de l'hôpital à l'A.P., les examens les plus importants étant faits dans les hôpitaux d'enseignement.

	ERK par examen	Surface par examen (dm2)
- A.P. de Paris	18,52	26,16
- C.H.R.	17,26	26,50
- C.H.	14,80	21,14
- Hôpitaux	13,71	18,37

2) - Variations régionales.

Pour la radiologie de ville des assurés sociaux, on constate d'importantes variations selon les départements. Par tête d'assuré la consommation varie de 1,7 à 11,2 ERK, les valeurs les plus fortes étant atteintes dans la région parisienne, le littoral méditerranéen et l'Alsace-Lorraine.

La consommation de films rapportée au lit d'hôpital montre les mêmes variations départementales. La consommation est forte dans les départements contenant une ville d'enseignement médical.

Il existe une corrélation entre les niveaux de consommation hospitalière et de ville : plus on utilise de radiologie à l'hôpital et plus on en utilise aussi en ville. Le niveau de C.H.U. conditionne le niveau du centre hospitalier et de l'hôpital. Tout se passe comme si les techniques et les niveaux de consommation diffusaient à partir des centres hospitaliers de haut niveau médical.

L'accroissement depuis six ans (1956-1961) se fait au même rythme selon les régions. L'Alsace-Lorraine, le Languedoc, la Provence et la région de Paris sont situées au dessus de la moyenne nationale. Les régions de Toulouse et de Lyon sont peu en dessous. La Bretagne, la Normandie, la Loire, l'Est, la région de Bordeaux et le Centre sont à un niveau inférieur. Le nombre d'examens fait en ville varie, selon les régions, de 160 pour 1.000 habitants à 57 ; la moyenne nationale étant à 95 en 1960.

3) - Le cas particulier de l'Assistance Publique à Paris.

Le tableau suivant résume l'expansion de la consommation radiologique dans les hôpitaux de Paris.

	Nombre d'examens	Nombre d'ERK (milliers)	Nombre de films (milliers)	Surface sensible (milliers de m2)	Expansion (exam.
1951	418.036	7.742			76,4
1953	547.297	10.136			100
1955	620.178	11.486			113,3
1956	666.932	12.352			121,8
1957	687.659	12.734	1.853	170	125,6
1958	712.999	13.201	1.997	185	130,3
1959	773.504	14.328	2.123	197	141,3
1960	795.506	14.738	2.216	206	145,4
1961			2.291	214	

Non seulement le nombre de films consommés augmente (+ 23,7 % en quatre ans, de 1957 à 1961), mais leur surface augmente un peu plus rapidement, si bien que la surface moyenne par film s'élève, traduisant le recours plus fréquent au grand format, que ce soit pour une pose unique ou pour des clichés en série (indice 102 en 1961 contre 100 en 1957).

Ces examens se pratiquent en majeure partie dans les radios centrales (80 % du total), mais aussi dans les postes détachés dans les services. Ils sont destinés aux malades hospitalisés (60 % du total) ou aux consultants externes.

Assistance Publique à Paris - 27 hôpitaux - Année 1958 :

Nombre d'examens :	Hospitalisés	Consultants externes	Total
Radios centrales	320.833	219.785	540.618
Radios des services	84.644	47.242	131.886
Total	405.477	267.027	672.504

La valeur indiciaire moyenne de l'examen est plus forte pour les hospitalisés (19,9 ERK par examen) que pour les consultants externes (16,9).

Selon la discipline des services, la consommation radiologique par lit et par admission varie :

1er semestre 1961	Nombre de lits	R par lit	R par admission
Neurochirurgie	326	806	102
Phtisiologie adulte	1534	245	77,61
Rhumatologie	319	359	50,1
Médecine générale adulte	4443	258	32,15
Chirurgie générale adulte	3873	205	20,83
Pédiatrie	1251	165	19,28

Ces valeurs indiciaires étant un bon moyen d'apprécier à la fois le nombre et l'importance de la consommation radiologique, on voit que certaines disciplines sont plus friandes de radiologie que d'autres : la neurochirurgie, la phtisiologie, la rhumatologie.

L'activité mensuelle varie entre deux extrêmes, août (indice 65) et mars (indice 125) par rapport à l'activité moyenne (indice 100).

D - LE NIVEAU MOYEN DE CONSOMMATION - COMPARAISONS ET PERSPECTIVES.

1) - Nombre d'examens radiologiques.

Des indices de passage de la valeur indiciaire et de la surface de films permettent d'évaluer le nombre d'examens radiologiques.

La surface de films par examen radiographique est de 0,39 m2 pour REBOUL, très voisin de celui donné par LAUGHLIN et PULLMANN aux Etats-Unis (0,42 m2). Selon d'autres estimations, elle serait de 0,280 m2 par examen en ville et de 0,202 m2 à l'hôpital. A l'Assistance Publique elle est de 0,259 en 1960.

De même, pour passer des ERK aux examens, la valeur moyenne adoptée de 18,5 ERK par examen, demande une grande prudence dans l'interprétation. Dans l'ensemble, cependant, on peut donner une estimation du nombre total des examens pour l'ensemble de la population. Le nombre d'examens à l'hôpital est de 84,4 pour 1.000 habitants et celui des examens faits en ville de 78 à 98,3 pour 1.000.

Au total, pour la France entière et pour les années récentes, le nombre d'examens radiographiques pour 1.000 habitants serait de 162 à 188 par an. Pour la région parisienne il est plus élevé, de 266 à 275.

Le nombre d'examens radioscopiques et de dépistage est mal connu, un million peut-être.

Une nouvelle évaluation de la production radiologique est fournie par RÖSCH, REMPP et MAGDELAINE, à partir d'une enquête par sondage sur la consommation médicale réalisée auprès de 3239 ménages représentatifs de l'ensemble de la population française.

En dehors de l'hôpital, le nombre d'examens radiologiques s'élèverait à 11.844.000 pour l'ensemble du pays, se répartissant ainsi entre les généralistes et les spécialistes :

Milliers d'examens	Généralistes	Spécialistes	Total
Scopies	3.318	2.688	6.174
Graphies	1.092	4.200	5.670

Cette évaluation, 270 examens pour 1.000 habitants, en pratique de ville, est, de l'avis des auteurs, sans doute surestinée du fait du petit nombre d'enquêtés ayant subi des examens radiologiques. On en retiendra deux points :

- six examens sur dix sont effectués par le spécialiste (aux yeux du malade),
- il y a un peu plus de radioscopies que de graphies.

Les examens systématiques de prévention d'élèvent, selon le même sondage, à :

- Médecine du Travail, scopies 4.788.000, soit 477 pour 1.000 travailleurs,
  graphies et radiophotos 756.000, soit 75 pour 1.000 travailleurs,
- Médecine scolaire, scopies 2.730.000, soit 283 pour 1.000 enfants,
  graphies 336.000, soit 35 pour 1.000 enfants.

2) - Structure de la consommation.

Aucun sondage représentatif de la consommation radiologique de la population française en ville et à l'hôpital ne permet de connaître sa répartition par type d'examens, par sexe

et par tranche d'âge. L'enquête de REBOUL concerne les hôpitaux de Bordeaux. Un sondage auprès des assurés de la S.N.C.F. serait plus représentatif :

	Bordeaux	S.N.C.F.
Poumons	44,9	26,6
Digestif	11,7	10,9
Vésicule	2,3	3,5
Rein	3,1	4,6
Bassin M.I.	13,8	22,3
M.S.	7,7	21,6
Rachis, tête	15	10,2

3) - Comparaisons internationales.

Il est très difficile de comparer les données internationales parce que les enquêtes sont d'inégale valeur, faites en général à partir de la production radiologique d'hôpitaux importants, extrapolées à l'ensemble du pays et que les structures par âge des populations ne sont pas semblables. Or, la consommation médicale augmente régulièrement avec l'âge et tant que l'on ne ramène pas un nombre d'examens à une population de même structure démographique (ou à une population théorique comme pour les indices de morbidité standard), aucun rapprochement n'est possible.

a) - Les consommations par milliers d'habitants varient du simple au triple selon les estimations :

- Royaume-Uni	233	-	1ère enquête 1957
"	249	-	2ème enquête 1957
- Californie	248	-	en 1956
"	340	-	en 1957
- Hanbourg	554	-	en 1958
- Danemark	235	-	en 1956
- Suède	291	-	en 1958
- France entière	169	-	en 1957
- Région de Paris	275	-	en 1957.

Les variations tenant aux conditions géographiques, socio-professionnelles et démographiques, peuvent à elles seules expliquer ces variations, sans faire intervenir des différences dans les niveaux de consommation.

b) - Le parc radiologique.

Il peut être aussi un indice comparatif intéressant. On ne possède malheureusement pas de données globales, ce qui rend difficiles les comparaisons.

Le parc radiologique français est mal connu.

• Dans la région bordelaise, sur 1.787 appareils, on trouve (REBOUL) :

- petits appareils de radioscopie	1.390
- appareils auto-redresseurs	164
- 4 kénotrons	198
- 6 kénotrons	35.

D'après des études de marché, il y aurait dans la France entière, 13.000 postes de scopie et 6.000 postes de graphie (dont 2.000 et 3.000 respectivement dans les hôpitaux et services publics).

• En pratique privée, un sondage auprès des médecins généralistes fait par le Concours Médical, montre que la radioscopie existe dans 70 % des cabinets dans les communes rurales, 56 % dans les villes, avec possibilité de faire de la radiographie dans 38 % et 18 % respectivement.

• Dans les hôpitaux publics, l'inventaire de l'appareillage des hôpitaux publics, Paris exclu, montre l'existence en 1958, de 1543 appareils de graphie : leur répartition, si l'on considère l'ancienneté de leur installation montre qu'ils sont
- pour la plupart âgés de moins de 9 ans ;

- plus de 20 ans	6,9 %,
- de 9 à 20 ans	22,7 %
- de 5 à 9 ans	29,3 %
- de 2 à 5 ans	23,7 %
- de moins de 2 ans	16,9 ù.

Pour l'étranger, on possède quelques chiffres donnant un ordre de grandeur :

- Ville de New York	- 2,13 appareils pour 1.000 habitants,
- Californie	1,09
- Norvège	0,75
- Nouvelle Zélande	0,45
- Pays-Bas	0,30
- Suède	0,65
- Suisse	1,21.

c) - L'activité des hôpitaux américains et parisiens.

En relevant dans le JAMA la liste des hôpitaux habilités à recevoir des résidents en radiologie, on peut suivre l'évolution de l'activité radiologique des hôpitaux universitaires.

	Hôpitaux	Lits	Examens radiologiques (1)	Admissions	Examens par lit	Examens par admission
1952	192	100.822	5.196.653	2.631.780	51,5	1,93
1956	182	104.776	5.775.965	2.929.829	51,1	1,97
1958	187	109.386	6.532.530	3.004.285	59,7	2,17
1960	192	112.867	7.196.653	3.305.065	63,8	2,18

La comparaison avec l'Assistance Publique montre que le nombre d'examens est à peu près le même par malade admis, mais que la rotation des malades étant bien plus élevée dans les hôpitaux américains, l'activité des services de radiologie y est, par rapport à la capacité de l'établissement, plus élevée qu'à Paris.

x x

x

L'expansion du radiodiagnostic s'est produite en France entre 1950 et 1960 à un rythme de croissance, pour la radiographie, proche de 9 % par an. Il semble qu'elle doive, dans l'avenir, continuer à un taux voisin, car rien ne permet de prévoir une saturation des besoins et les comparaisons non chiffrées, que l'on peut faire entre la France et certains pays, telle la Suède, où la radiologie est une discipline majeure, entre la consommation médicale de la province et celle de l'agglomération parisienne, montrent qu'un certain nombre d'investigations radiologiques, justifiées en l'état actuel de nos connaissances, ne sont pas demandées.

Service médical très largement répandu dans la population, le radiodiagnostic apporte d'inestimables renseignements au clinicien. On peut se demander cependant si les radiations ionisantes qu'il met en jeu et les agents opacifiants qu'il emploie ne présentent pas un risque pour le patient.

(1) - Pour les hospitalisés et les consultants externes.

CHAPITRE II - PROBLEMES DE DOSIMETRIE EN RADIODIAGNOSTIC.

Pour évaluer le risque dû aux radiations, il faut pouvoir apprécier l'ordre de grandeur des doses absorbées par l'organisme. Or, bien des incompréhensions, voire des contre-sens se voient dans les publications non spécialisées du fait de la difficulté de s'y retrouver dans les notions complexes de la dosimétrie des rayons X. Alors qu'il est facile de relier l'effet d'un médicament à la quantité totale de drogue absorbée par l'organisme, il est plus délicat de comprendre que la dose d'exposition à la peau - la plus facilement mesurable - n'a qu'une signification radiobiologique limitée. Enfin, il ne faut pas perdre de vue le fait que le radiodiagnostic se fait avec des rayons très peu pénétrants presque entièrement absorbés par l'organisme et que le déroulement d'un examen radiologique est souvent des plus variables d'un sujet à un autre.

Depuis une dizaine d'années, de très nombreux travaux se sont intéressés à la dosimétrie du radiodiagnostic tandis que, parallèlement, l'essor de la radiothérapie rendait plus familiers les concepts de doses que l'ICRU s'efforcerait de préciser.

A - LE DEROULEMENT THEORIQUE D'UN EXAMEN RADIOLOGIQUE.

L'examen radiologique consiste à recueillir l'information fournie à un faisceau de rayons X par son absorption inégale dans un organisme humain hétérogène.

Les photons X émis par le tube seront au passage dans l'organisme :

- ou absorbés complètement,
- ou laissés intacts et le rapport entre ces deux catégories définira le message contenu par le faisceau émergent,
- ou diffusés et un système de grilles antidiffusantes à la sortie cherchera à se débarrasser de ce bruit de fond parasite.

Les phénomènes physiques seront à étudier :

a) - avant l'organisme : qualité et quantité de rayonnement incident,

b) - après l'organisme : système de recueil du message,

c) - dans l'organisme : absorption des rayons.

Pour une radioscopie de face en postéro-antérieure du poumon faite sous 90 kv, 30 mAs, avec une filtration supplémentaire de 3 m/m Al, MORGAN estime que l'image contenant l'information diagnostique se fait en six étapes.

1) - Le faisceau incident présente un flux de photons X à la peau de : 10^7 photons par mm2 et par seconde :

2) - après l'absorption par l'organisme le flux émergent est de l'ordre de grandeur de 10^6 photons par mm2 et par seconde, mais la composition spectrale de ces photons n'est plus la même;

3) - dans l'écran fluoroscopique le flux est d'environ 10^6 photons (il est, avec le même rayonnement incident de 10^5 pour l'abdomen de face et de 10^4 pour la colonne lombaire de profil) ;

4) - A la sortie de l'écran de scopie, le flux de lumière visible est de 10^7 à 10^9 photons ;

5) - Ne sont reçus par la pupille que 10^4 à 10^6 photons visibles pour chaque mm2 d'écran ;

6) - parmi lesquels seuls 10^2 à 10^4 stimulent la rétine.
90 à 95 photons incidents sur 100 seront absorbés lors du passage dans l'organisme : le radiodiagnostic doit donc, avant tout, être pensé comme une radiothérapie segmentaire.

LE DEROULEMENT PRATIQUE DE L'EXAMEN -

En pratique, l'opérateur ne peut guère agir sur ces phénomènes d'absorption par les tissus humains. Mais il peut intervenir de trois manières sur l'importance des photons absorbés par l'organisme.

1) - Selon le système de recueil des photons émergents (film ou écran de radioscopie) et le système de multiplication des photons visibles (amplificateur ou non) qu'il aura choisis, il emploiera un flux photonique incident plus ou moins intense, c'est-à-dire une irradiation plus ou moins importante. Les variations pourraient être de 1 à 10.

2) - Selon la surface du faisceau incident, le nombre total de photons par unité de temps variera dans la proportion de 1 à 10 pour les examens usuels.

3) - Selon la quantité d'images recueillies (nombre de graphies ou durée de radioscopie) la quantité des photons, pour un même champ d'irradiation, pourra varier de 1 à 100.

En combinant ces trois variables, on peut obtenir des variations de 1 à 10^4 du nombre total des photons incidents employés, c'est-à-dire approximativement du nombre total de photons retenus par l'organisme.

Les cas extrêmes peuvent être représentés par :

- la radiographie simple d'un doigt,

- l'examen scopique et graphique du colon par exemple.

C - LES UNITES DE DOSIMETRIE.

Les photons X ont un pouvoir d'ionisation de l'air et des tissus. L'ionisation des tissus et essentiellement de l'eau qu'ils contiennent

est à l'origine des phénomènes biologiques et conditionne le risque lû aux radiations. Mais c'est l'ionisation de l'air qui a rendu possible la dosimétrie.

Il est impossible en pratique de mesurer la population de photons X sortant de l'ampoule, et sa composition spectrale, de suivre chacun d'eux statistiquement dans l'organisme et de les recueillir à la sortie de l'organisme (MAC CORMACK).

1) Deux grandeurs caractérisent l'énergie incidente.

a) - Le flux énergétique - C'est l'énergie traversant une unité de surface perpendiculairement au faisceau par unité de temps. Elle s'exprime en watt par cm2. Elle suppose connu le nombre de photons incidents et leur répartition spectrale mais peut aussi être mesurée à partir de la dose d'exposition.

La quantité de rayonnement en est l'intégrale en fonction du temps et de la surface.

b) - L'exposition - C'est une grandeur caractérisant le rayonnement par son pouvoir ionisant dans l'air. Elle s'exprime en roentgen, seule grandeur mesurable directement en pratique. Une dose d'exposition d'un roentgen signifie que le rayonnement a été capable, dans un volume de 1 cm3 d'air, au point considéré de créer 2,083 x 10^9 paires d'ions transportant une unité électrostatique d'énergie, soit 3,33 X 10^{-10} coulombs .

L'énergie absorbée par ce cm3 d'air représente encore une énergie de :

- 6,77 . 10^{10} eV
- 0,108 . erg
- 1,08 . 10^{-8} joule
- 2,59 . 10^{-9} calorie.

2) L'énergie absorbée, la seule intéressante sur le plan biologique, est représentée par la dose absorbée : quantité d'énergie délivrée à l'unité de masse de matière par les particules ionisantes à l'endroit considéré. L'unité est le rad qui, par définition, égale 100 ergs par gramme. L'énergie absorbée n'est pas mesurable directement. Les tissus ayant une composition atomique très proche de celle de l'air, il est possible de considérer 1 gramme d'eau comme 1 gramme d'air comprimé en 1 cc. L'ionisation produite dans ce gramme d'eau par ce même rayonnement de 1 r correspond à 857,6 unités électrostatiques, ou encore :

$1{,}79 \cdot 10^{12}$ paires d'ions
$2{,}86 \cdot 10^{7}$ coulombs
$5{,}81 \cdot 10^{13}$ eV
$9{,}3 \cdot 10^{-6}$ joule
$2{,}22 \cdot 10^{-6}$ calories

ou encore 93 ergs.

Une exposition de 1 r délivre à 1 gramme d'eau 93 ergs, soit 1,07 rad.

En première approximation, on peut admettre qu'une exposition de 1 r correspond à une énergie absorbée de 1 rad au point considéré, mais non à distance de lui.

L'ABSORPTION DES RAYONS DU DIAGNOSTIC.

Les rayons du radiodiagnostic sont de qualité variable :

- la tension maximum dans l'ampoule varie de 40 à 100 kv en pratique,
- la forme de l'onde (4,6 ou 12 kénotrons) conditionne la tension moyenne efficace et la forme du spectre.
- la filtration inhérente au tube et la filtration supplémentaire éventuellement ajoutée diminuent électivement la composante peu énergétique du spectre.

Mais dans la gamme des rayonnements, le radiodiagnostic emploie une bande assez étroite dont la C D A est de 1 à 5 m/m d'Al.

Dans les tissus, ces rayons sont absorbés par photo-absorption: la diffusion avec ou sans changement de longueur d'onde (effet COMPTON) est relativement peu importante.

SEELENTAG a donné la forme des courbes d'absorption dans les tissus. Le schéma n° 1 montre les isodoses en profondeur pour un rayonnement de 90 kv filtré par 2 m/m supplémentaires d'Al, pour un fantôme d'eau de 22,5 cm d'épaisseur (abdomen d'adulte) et pour une très grande largeur. On y constate :

1) - Dans le faisceau une décroissance très rapide - Elle est due en partie à la divergence des rayons à partir de l'ampoule (loi du carré de la distance).

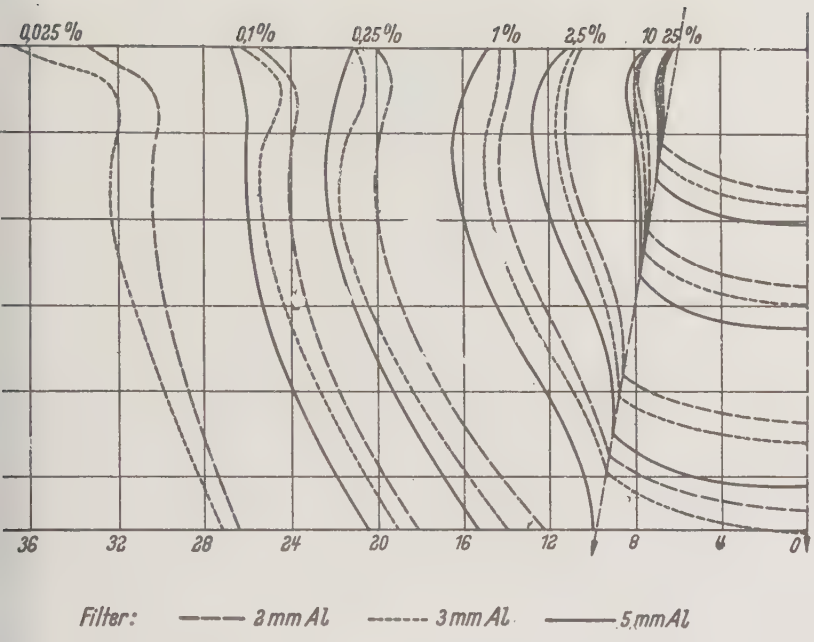
Elle est due surtout à l'absorption très rapide dans les tissus de ce rayonnement qui correspond pourtant à l'un des pkus pénétrants utilisés en radiographie courante.

Le schéma n° 2 montre la dose en profondeur dans l'axe du faisceau pour un fantôme de 24 cm pour ce même rayonnement de 90 kv de tension constante inégalement durci par des filtrations croissant de 2 m/m Al à 1 m/m Cu et dont la C D A varie de 2,7 à 4,5 m/m Al.

L'isodose 25% se situe entre 6 et 8 cm de profondeur.

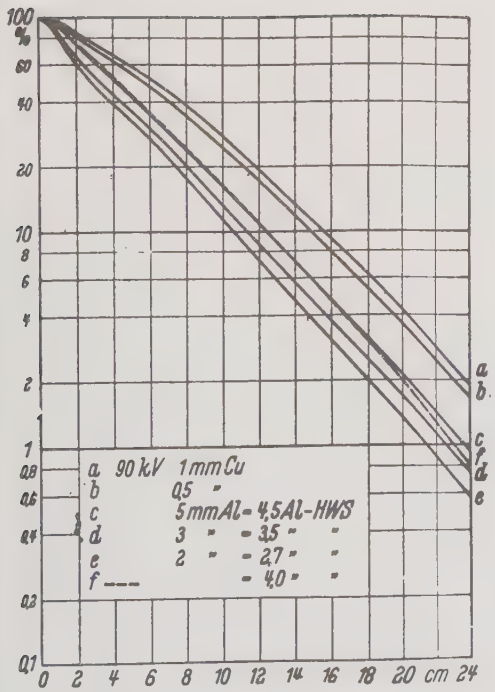
A 10 cm de profondeur, la dose varie de 30 à 12% de la dose à la surface en fonction de la filtration ajoutée.

2) - En dehors du faisceau, latéralement la décroissance est encore plus rapide: la proportion de diffusé latéral est modeste. A 8 cm de profondeur, en un point situé en dehors du faisceau, à une distance égale à la demi-largeur du faisceau en ce point (8 cm) on ne trouve que 1 % de la dose à la surface.



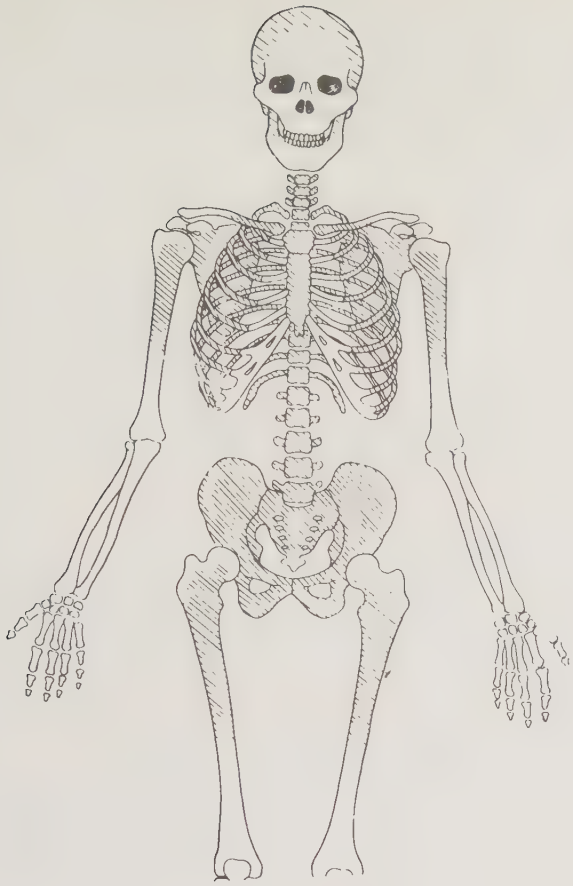
SCHEMA 1

Isodoses en profondeur pour un rayonnement de 90 kv avec différentes filtrations.
Fantôme de 22,5 cm d'épaisseur (en ordonnée)et de 80 cm de largeur (en abcisse)
(SEELENTAG)



SCHEMA 2

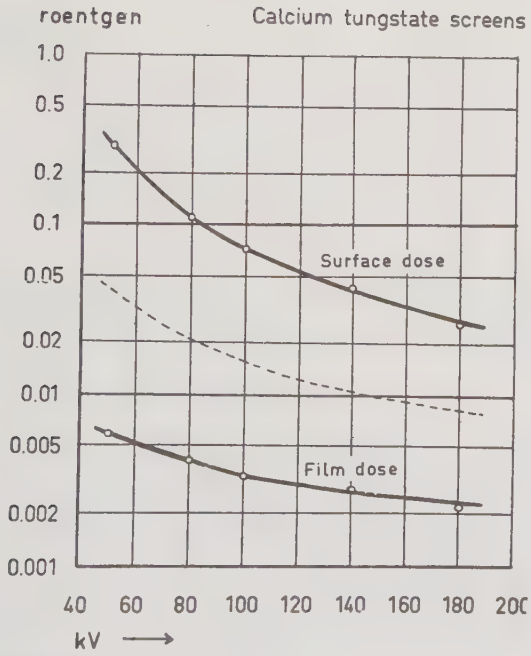
Transmission en profondeur dans l'axe d'un rayonnement de 90 kv avec différentes filtrations.
DSP - 35 cm - champ I50 cm^2 .
(SEELENTAG).



SCHEMA 4

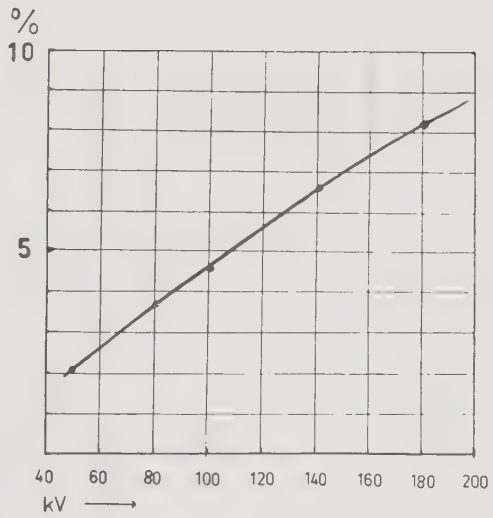
Distribution de la moëlle osseuse chez l'adulte

(HASHIMOTO)



SCHEMA 3

Dose d'exposition à la surface et au film par un noircissement de densité 1



SCHEMA 5

Rapport entre la dose d'exposition incident et la dose d'exposition émergente.

Fantôme de 16 cm d'épaisseur - champ de 400 cm^2 (MATTSON)

3) - A la sortie du faisceau, à 22,5 cm de profondeur, il ne reste que 1 à 2 % de la dose à la surface.

Le rayonnement de sortie est composé :

- de la partie du rayonnement initial qui a traversé sans modification les tissus,

- du rayonnement diffusé à partir du corps absorbant.

Alors que le rayonnement initial conserve la direction divergente du faisceau incident, le rayonnement diffusé est orienté dans toutes les directions et doit être éliminé par les grilles anti-diffusantes.

Le noircissement satisfaisant d'un film radiographique est obtenu lorsqu'il arrive à son niveau une exposition de rayons X de 1 mr (10^{-3} r).

De cette isodose (graphique1) on peut tirer trois conclusions :

1) - pratiquement, toute l'énergie du faisceau est absorbée par l'organisme et la mesure de l'énergie incidente permettra de mesurer la dose totale absorbée;

2) - En dehors du faisceau, la dose est minime et le meilleur moyen de ne pas irradier un point sera de le maintenir en dehors du rayonnement direct;

3) - La fraction sortant, qui contient le message radiologique, est faible et devra être recueillie soigneusement.

LE RAYONNEMENT EMERGENT : LA DOSE D'EXPOSITION AU FILM.

La qualité du rayonnement à la sortie détermine la valeur du message :

a) les photons non orientés selon les directives du faisceau contribueront inutilement au noircissement du film et créeront le flou photographique (ou radioscopique).

b) - Les photons orientés correctement formeront l'image radiographique utile. Le contraste théorique de l'image dépendra du rapport entre le nombre(maximum) de photons émergents au niveau du faisceau élémentaire le moins absorbé, et le nombre(minimum) de photons émergents du faisceau élémentaire le plus fortement absorbé. En pratique, le contraste visible dépendra du système de recueil de l'image que l'on aura adopté.

L'art du radiodiagnostic consiste, pour un système de recueil donné à obtenir la plus belle image visible, c'est-à-dire à employer un rayonnement incident tel que le message radiologique sera le plus riche : grand contraste, faible noircissement du fond. Le rôle du radiologue consiste à faire varier :

- soit, l'énergie maximum des photons incidents, dont le kilovoltage nominal est une mesure indirecte,
- soit, le nombre de ces photons dont le nombre de mAs employé donne une estimation indirecte.

Mais, ce faisant, il fait varier les doses d'exposition à la surface du patient et au film. Pour obtenir un même noircissement de densité 1 sur un film contenu entre deux écrans renforçateurs habituels, il faut pour un fantôme homogène de 16 cm d'épaisseur :

a)-une dose d'exposition à la surface du sujet de 0,3 à 0,03 roentgen,

b)-une dose d'exposition au film variant de 0,006 r à 0,002 roentgen, pour des rayonnements variant de 40 à 200 kv.(schéma 3).

- LA DOSE ABSORBEE EN PROFONDEUR.

Il faut bien comprendre que les doses d'exposition exprimées en roentgen que l'on peut mesurer à la peau du sujet lors des différents examens radiologiques n'ont aucune signification biologique ou médicale. Au maximumelles peuvent renseigner sur le risque radiologique couru par la peau dans ses couches les plus superficielles. A cet endroit, la peau soumise à une exposition de 1 r absorbe une quantité d'énergie ionisante de 1 rad. A un centimètre de profondeur, les composantes

les moins énergétiques du spectre ont été fortement absorbées et l'exposition à ce niveau n'est plus que de 85 à 90 % de ce qu'elle était à la surface (pour un rayonnement de 90 kv). A deux centimètres elle n'est plus que 60 à 70 %;

A cinq centimètres, profondeur que l'on adopte par convention pour l'ovaire, la transmission en profondeur est d'environ 20 à 30 % pour le rayonnement de 50 kv et de 40 kv à 50 % pour 90 kv.

Il est donc faux de dire que, lors d'un examen radiologique donné, ayant nécessité une dose d'exposition à la peau de 1 r, le patient a "reçu" 1 r de radiations et de comparer cet effet biologique à celui d'une souris ayant été irradiée in toto à raison de 1 rad en chaque point de l'organisme.

On doit considérer la dose de radiations effectivement absorbée par l'organe critique considéré.

1) - Si celui-ci est ponctuel en première approximation, on évalue la dose en profondeur d'après la dose à la surface et le rendement du rayonnement à la profondeur considérée.

a) - Pour des raisons de commodité, on admet que la dose d'exposition au niveau du scrotum donne une valeur satisfaisante de la dose absorbée par le testicule et que la dose d'exposition au niveau du cou est la même numériquement que la dose absorbée par la thyroïde. Si le spectre n'est pas débarrassé de ses composantes molles par une filtration supplémentaire d'un ou quelques m/m d'Al, la dose au milieu du testicule ou des tissus thyroïdiens est surestimée, car les plans superficiels ont absorbé une forte proportion du rayonnement incident (30 à 50 %).

b) - La dose à l'ovaire peut être mesurée directement (chambre d'ionisation dans le rectum) ou évaluée d'après le rendement en profondeur.

2) - Si l'organe critique est diffus telle la moelle osseuse, l'estimation de la dose absorbée à son niveau nécessite trois étapes :

a) connaître la répartition pondérale de la moelle osseuse dans l'organisme. Chez l'adulte, on se réfère toujours aux travaux fondamentaux de MECHANIK (1926) toujours cité par les radiologues (HOLODNY, LECHTMAN et LAUGHLIN dans leur étude sur la dose à la mlelle lors de la curietherapie du cancer du col) (1961).

La moelle osseuse de l'adulte est estimée à 1500 grammes répartis ainsi :

- colonne vertébrale 40 %
- côtes et sternum 25 %
- bassin 15 %
- crâne 10 %
- divers (épaules, hanches) 10 %.

Les os les plus riches sont les vertèbres lombaires, le sacrum et les ailes iliaques. La fraction de la moelle active est, d'après CUSTER (1932), de 0,4 pour les côtes, 0,6 pour le sternum et 0,75 pour les autres os, et l'adulte contient environ 1.000 grammes de moelle active. HASHIMOTO (1961) a repris ces travaux à propos de 1.100 autopsies de malades morts d'hémopathies, d'affections provoquant indirectement une hyperplasie de la moelle rouge et de sujets normaux. Il confirme cette distribution anatomique de la moelle, décrit différents types de répartition des îlots rouges et jaunes dans divers os, mais ne donne pas de répartition pondérale (schéma n° 4). Cette carte de la moelle osseuse est à retenir pour apprécier approximativement le risque hématologique des différents examens radiologiques.

Chez le jeune enfant et le nourrisson, on sait que la cellularité de la moelle est de 100 % (STURGEON, 1951) et qu'elle décroît avec l'âge. Les os des extrémités sont peuplés de moelle active, en particulier l'extrémité supérieure du tibia où se pratique chez le nourrisson la ponction medullaire. La radiographie des membres présente donc chez le jeune enfant un risque hématologique éventuel qui n'existe pas chez l'adulte. Inversement, l'irradiation du tronc respecte une plus forte proportion de la moelle que chez l'adulte.

Nous avons proposé dans un travail sur l'irradiation du nourrisson, lors de l'examen radiologique de son estomac, de confondre la répartition volumétrique de la moelle osseuse avec celle des pièces osseuses.

b)- Estimer la dose en chacun des points de la moelle osseuse.

Ceci ne peut être mesuré que sur un fantôme, en se mettant dans les conditions de l'examen radiologique considéré : on introduit au niveau de certains os choisi, de petites chambres d'ionisation qui mesurent la dose en profondeur.

Pour les rayonnements du radiodiagnostic, la dose absorbée dans l'os est numériquement supérieure à la dose d'exposition à son niveau, à cause de la forte densité électronique de l'os et le rapport rad/r dans la compacte osseuse atteint 4. Mais la dose absorbée par les tissus avoisinant l'os, tels les myéloblastes à côté des travées calcifiées décroit très rapidement à partir de 10/mu . Seules, les cellules jouches au contact direct des dépôts calciques sont ainsi soumises à un surdosage : en toute rigueur, il faudrait en tenir compte si la dose maximum absorbée en un point de la moelle osseuse intervient sur le plan biologique.

c) Représenter l'irradiation hétérogène de la moelle.

On suppose que tout se passe comme si l'énergie absorbée par la moelle en sa totalité se répartissait également entre ses différents éléments cellulaires et on évalue une dose moyenne absorbée à la moelle. C'est la somme des doses absorbées en chacun des volumes élémentaires irradiés rapportés au poids total de la moelle.

La répartition statistique des doses absorbées en chacun des points de la moelle renseigne sur l'importance relative des fractions indemnes et irradiées. L'irradiation totale de la moelle n'a pas les mêmes effets radiobiologiques que l'irradiation partielle et il est possible qu'il existe pour chaque volume medullaire élémentaire, une dose au-dessous de laquelle les radiations ionisantes sont sans conséquence.

La mesure de l'irradiation medullaire présente donc de grandes difficultés. Elle est pourtant indispensable si l'on veut établir un langage commun et évaluer le risque radiologique à son niveau.

- LA DOSE INTEGRALE ABSORBEE.

Dans le cas de l'organisme en totalité et en faisant abstraction des réponses très hétérogènes (os compact, poumon, baryte éventuellement) qui absorbent plus ou moins que les tissus mous assimilables à l'eau, on peut apprécier le risque radiologique somatique par la dose intégrale absorbée.

On détermine pour cela la dose absorbée en chacun des volumes élémentaires (par exemple des tranches de 1 cm d'épaisseur dans le volume irradié par le faisceau direct) et on en fait la somme.

La dose intégrale absorbée s'exprime en gr.rads. Elle a la grandeur d'une énergie et peut aussi bien s'exprimer en ergs ou en joules : 1 joule = 10^7 ergs = 10^5 gr.rads, soit 100 rads dans un kilogramme de tissus.

Si, pour des rayonnements plus énergétiques, la quantité de radiations sortant du malade est importante, il n'en est pas de même en radiodiagnostic, et on peut admettre (REINSMA, MORGAN) que l'énergie contenue dans le faisceau incident est égale à la dose intégrale absorbée.

On peut alors, en introduisant un dosimètre spécial entre le tube et le malade dans la totalité du faisceau, mesurer directement cette énergie exprimée soit en r/cm2, soit directement en millijoule ou en milliwatt/seconde.

La dose intégrale absorbée peut être rapportée à l'organisme en entier si l'on suppose que tout se passe comme si l'énergie absorbée en certains volumes de l'organisme pouvait se répartir, quant à ses effets biologiques, dans l'organisme tout entier. On divise alors la dose intégrale absorbée par le poids de l'organisme pour avoir une dose absorbée moyenne, exprimée en rads.

H - DOSIMETRIE PRATIQUE DU RADIODIAGNOSTIC.

La nécessité de mieux apprécier le risque radiologique lors du diagnostic a amené un courant d'intérêt chez les physiciens et constructeurs d'appareillages, et l'on possède maintenant des chambres d'ionisation adaptées aux photons de 50 à 100 kv d'énergie et, plus rarement, des dosimètres capables de mesurer directement l'énergie du faisceau.

1) - Une manière simple de mesurer le niveau de l'irradiation est de se contenter des indications nominales du rayonnement :

- la différence de potentiel aux bornes du tube = kv
- le flux électronique dans le tube = mAs
- les dimensions des films employés et leur nombre.

Les constantes employées en pratique sont toujours les mêmes pour un même type de radiographie et l'on peut reconstituer avec le même appareillage les conditions de l'irradiation.

Les dimensions du champ à la peau peuvent se calculer d'après la distance du tube à la peau et au film et, en supposant - ce qui est faux en pratique habituelle - que le faisceau ne dépasse pas les limites du film.

On peut ainsi dire, en première approximation, pour une même qualité de rayonnement (même kv) :

- qu'un examen radiographique ayant nécessité dix films d'un format déterminé, a irradié dis fois plus qu'un examen qui n'en a nécessité qu'un seul,
- qu'un examen radiographique ayant nécessité un film de grand format (36 X 43, soit 1550 cm2) a irradié quinze fois plus qu'un examen pratiqué avec un seul film de petit format (9 X 12 = 108 cm2),
- qu'un examen radiographique ayant nécessité 200 mAs d'un rayonnement donné pour un film de format donné aura irradié dix fois plus qu'un examen n'ayant nécessité, pour obtenir un film lisible, que 20 mAs.

Ces évidences sont souvent perdues de vue lorsqu'on doit évaluer un niveau d'irradiation. En particulier, on n'attache pas intuitivement une assez grande importance au format des films. A dose d'exposition égale, l'irradiation dépend de la dimension du champ d'irradiation.

La mesure du temps de radioscopie peut être faite facilement, grâce à une minuterie branchée sur le pupitre, mais il ne renseigne pas sur les variations de la surface irradiée.

2) - Une estimation plus précise est donnée par la mesure des doses à la surface. Une chambre d'ionisation placée sur la peau, au centre du faisceau, donne une idée de l'irradiation, mais cette idée risque d'être subversive si l'on s'en contente.

La dose d'exposition ne renseigne :

- ni sur la qualité de rayonnement, c'est-à-dire son pouvoir de transmission en profondeur,
- ni sur le champ irradié.

S'en contenter pour comparer entre elles des irradiations expose à des contre-sens.

Cette merveilleuse unité qu'est le roentgen - car la seule mesurable - crée la confusion si on lui fait jouer un autre rôle que celui de serviteur qui lui est dévolu. Le seul risque biologique qu'elle mesure directement est celui que court le volume d'air contenu dans la chambre d'ionisation.

3) - La dosimétrie idéale pour les examens radiologiques importants qui associent la radioscopie à la graphie est réalisée par MILLER (1962) grâce à son simulateur d'examens.

Le but de son installation consiste à enregistrer chacune des phases de l'examen radiologique, notant au fur et à mesure le comportement du radiologue et du malade : position, dimensions du

champ, kilovoltage et intensité dans le tube. Ces informations sont enregistrées sur cartes perforées ; le même examen est reproduit sur un fantôme contenant des chambres d'ionisation en différents points. Le comportement du radiologue lors du temps radioscopique est ainsi exactement reproduit et, pour chaque examen, on peut connaître :

- le temps total en secondes,
- le champ moyen en cm2,
- la dose d'exposition en r,
- la dose d'exposition intégrale en r.cm2.

4) - La mesure de l'énergie totale du faisceau ne renseigne pas sur le risque au niveau d'un organe critique donné, mais sur le risque somatique général et donne l'ordre de grandeur du niveau d'irradiation générale.

Le dosimètre consiste en une chambre d'ionisation très plate, de grandes dimensions, placée dans le faisceau après le diaphragme mobile (fabriquée par Phillips et P.T.W.). MORGAN en a conçu une avec des parois transparentes. Le courant d'ionisation produit est proportionnel à la dose d'exposition et au champ (intégré en fonction du temps) : il indique directement des roentgen-cm2, ou après correction en fonction de l'énergie, des millijoules.

Un tel dosimètre est très commode pour mesurer en routine le niveau de l'irradiation générale et renseigner le radiologue sur son comportement. Son emploi est appelé à se généraliser.

Les données de la littérature concernant la dosimétrie des principaux examens radiologiques sont de valeur inégale, mais en les confrontant, on arrive à se faire une opinion sur l'ordre de grandeur des doses de rayonnement absorbées par l'organisme.

CHAPITRE III - LES DOSES DE RADIATIONS LORS DES PRINCIPAUX EXAMENS RADIOLOGIQUES.

De très nombreux facteurs conditionnent l'ordre de grandeur de l'irradiation du malade au cours des examens radiologiques, parmi lesquels :

- la qualité de l'appareillage,
- le comportement de l'opérateur,
- l'affection en cause.

Ces trois facteurs principaux sont relativement indépendants et on peut concevoir les cas extrêmes d'un appareillage excellent, d'un radiologue compétent et d'un diagnostic radiologique facile, et d'un appareillage désuet aux mains d'un médecin peu entraîné, examinant un malade difficile. Pour arriver au même résultat, c'est-à-dire à un diagnostic médical, la dose de radiations absorbées par le patient aura pu varier de 1 à 100.

La plupart des examens radiologiques se déroulent cependant d'une manière assez semblable et on peut connaître l'ordre de grandeur de l'irradiation correspondante.

De très nombreuses mesures ont été faites dans les dix dernières années. Le mouvement d'intérêt qui a présidé à ces travaux est dû à plusieurs faits :

a) - l'activité des commissions d'experts chargés de déterminer le niveau général d'irradiation des populations,

b) - la mise au point de dosimètres commodes et fidèles :

- les uns pour mesurer les doses en profondeur en un point,
- les autres, plus récents, pour mesurer la quantité d'énergie du faisceau incident,

c) - le développement des amplificateurs de brillance et le souci de mesurer l'économie d'irradiation qu'ils permettent.

On a cependant d'abord beaucoup publié sur les doses d'exposition à la peau, sans tenir compte des autres facteurs, et il en est résulté bien des confusions dans les milieux médicaux non spécialisés. Puis les mesures faites au niveau des ovaires ont mieux fait comprendre l'intérêt des doses en profondeur. La notion de dose moyenne à la moelle osseuse est plus difficile à saisir.

Depuis deux ans, on s'efforce d'évaluer la quantité totale d'énergie absorbée par l'organisme. Les difficultés surgissent dans le choix des unités à adopter.

L'école anglaise et, à sa suite, les écoles américaines et scandinaves restent fidèles aux mesures physiques pures et proposent de conserver le rad et le gr. rad.

L'école allemande fait remarquer que l'emploi de ces unités bien définies pour désigner des quantités calculées à partir de roentgens fait croire que ces mesures sont très exactes : il est préférable, pour éviter toute confusion, d'employer de nouvelles unités contenant la notation en roentgen, tel le roentgen/cm2 pour désigner le produit de la dose d'exposition par la surface du champ à la peau, et le roentgen/litre pour mesurer la dose intégrale absorbée calculée à partir de la dose d'exposition mesurée.

A - CLASSEMENT DES DIFFERENTS TYPES d'EXAMENS.

La Commission Internationale de Protection contre les Radiations (C.I.R.P.) a recommandé que les études statistiques portant sur la fréquence des examens et les doses reçues, distinguent 23 catégories différentes d'examens radiologiques. On peut les classer en trois catégories :

a) - le poumon (1), le plus fréquent des examens, qui peut être

examiné en radioscopie et en radiographie. Un cas particulier à part : le pneunogramme (23).

b) - les examens pratiqués en radiographie seule, pour la plupart des examens sans préparation :

- (3) l'abdomen et les voies urinaires sans préparation,
- (4) la région lombaire,
- (6) la tête et le cou,
- (7) le bassin et les hanches,
- (8) la jambe et le pied,
- (9) le bras et la main,
- (10) le fémur et le genou,
- (13) le thorax osseux,
- (14) la colonne thoracique,
- (21) le squelette en entier.

On y trouve aussi quelques examens après préparation qui ne comportent pas de temps radioscopique :

- (11) la vésicule biliaire,
- (12) l'urographie intraveineuse et la cystographie subséquente.

c) - Les examens comportant, en règle, un temps radioscopique associé à la radiographie :

- (2) l'estomac et le duodénum,
- (5) le lavement baryté en distinguant celui (15) qui s'accompagne d'une insufflation,
- (18) l'intestin grêle,
- (17) la myélographie,
- (19) la bronchographie,
- (22) l'hystérosalpingographie.

d) - Enfin, un cas particulier : la pelvimétrie (20).

Ce classement en 23 catégories a été fait pour calculer la dose gonades d'une population. Elle distingue nettement les examens irradiant fortement les gonades, mais réunit dans une même catégorie tous ceux qui ne présentent pas de risque génétique (tête et crâne par exemple). On arrive alors, en suivant cette classification, à des difficultés de classement (comment distinguer la myélographie rachidienne totale au lipiodol de la radiculographie lombosacrée) et à une perte d'information pouvant renseigner sur la fréquence de l'emploi des agents de contraste, les habitudes radiologiques et la morbidité vue sous l'angle radiologique. Il convient de distinguer un plus grand nombre de catégories d'examens selon,

- l'emploi de la scopie et le type de radioscopie (amplificateur ou non),
- le type de la radiographie : tomographie et radiocinéma et la sensibilité des films employés,
- le contraste employé et la voie d'introduction : distinguer par exemple la cystographie par voie intraveineuse et l'urétérocystographie rétrograde.

Le risque dû aux opacifiants et aux radiations ne peut être apprécié que si l'on connaît bien la fréquence respective des différentes catégories d'examens. Les variations trouvées dans les doses de rayons pour un même examen s'expliquent pour une partie par des variations dans les incidences et le nombre de poses.

Nous examinerons les données de la littérature concernant quelques examens et, en particulier, celles colligées par LAUGHLIN et collaborateurs (L.), ou les mesures françaises adoptées par REBOUL et collaborateurs (R.).

B - L'EXAMEN RADIOLOGIQUE DU POUMON.

1) - La radioscopie pulmonaire - Examen encore couramment répandu, il a été très étudié.

a) - La qualité de l'appareillage intervient en radioscopie.

Le débit de dose des appareils de radioscopie est des plus variables. GORSON, étudiant 81 postes de scopie en fonctionnement à Philadelphie, dans les conditions habituelles de la radioscopie pulmonaire, trouve les chiffres suivants :

- débit de dose à l'écran 1,8 à 46,7 r/min - m = 8,9 r/m
- C D A 1,8 à 3,7 m/m Al - m = 2,9 m/m Al
- Nombre moyen d'examens par semaine et par appareil 1 à 80 - m = 28
- Durée d'exposition par examen 2 à 10 minutes - m = 3,8 minutes.

b) - La durée de l'examen et la surface du champ.

Trois variables interviennent pour l'irradiation somatique : le débit de dose, la durée et la surface du champ.

Pour BARIETY, la radioscopie faite dans de bonnes conditions ne dépasse pas 30 secondes (avec 70 kv et 3 à 4 mA), la dose d'exposition est en moyenne à 0,300 r.

Pour ARDRAN, la durée de l'examen varie de 1 min. 5 sec. à 5 min. 54 sec. (moyenne 2 min. 35 sec.). Pour OSBORN, la moyenne est de 52 secondes.

ARNAL et PICHLAU mesurent sur 589 radioscopies de poumons la dose surface d'exposition ; en moyenne, la surface d'entrée à la peau est de 128 cm2 avec une nette différence entre les examens radioscopiques normaux (121 cm2 sur 277 malades) et les examens où l'on trouve une anomalie (133 cm2 sur 312 malades). Le temps est de 0,96 minutes dans le premier cas, et de 1,14 minute dans le second. Si bien qu'au total, avec le même rayonnement, l'irradiation est plus forte en moyenne lorsque le poumon présente des anomalies que lorsqu'il est normal : 528 r.cm2 contre 354 r.cm2. Seul 1 % des sujets dépasse 800 r.cm2 et il s'agit toujours d'images thoraciques anormales. Si le malade vient à pied, la dose surface est de 398 r.cm2, s'il vient en brancard elle est de 521 r.cm2.

D'un opérateur à l'autre, la dose.surface varie peu, car il s'agissait dans ce travail de six radiologues travaillant dans le même service de l'hôpital de Hambourg. Cependant, un radiologue myope travaillant sans lunettes employait une dose.surface nettement plus faible et diaphragmait davantage que ses collègues.

c) - L'énergie absorbée lors de la radioscopie.

La dose intégrale calculée selon la formule de Mayneord donne des valeurs approximatives : on doit supposer l'épaisseur du sujet égale à 20 cm (elle varie de 15 à 28) et travailler sur la dose d'exposition que l'on mesure par cette méthode et non sur la dose à la peau (qui est plus élevée à cause du rétro-diffusé). Néanmoins, l'ordre de grandeur est en moyenne de 2,69 r.l.

REINSMA, sur 127 patients, trouve une dose d'exposition moyenne de 4,6 r et évalue la dose intégrale absorbée à une valeur bien proche de celle d'ARNAL : 2,8 kg.rads.

Tout se passe donc comme si une scopie pulmonaire, faite par un radiologue sur l'appareillage d'un service de radio délivrait une quantité d'énergie de 1 rad à 2,8 kg de l'organisme ou, pour fixer les idées, si l'on pouvait assimiler cette irradiation locale à une générale, 0,050 rad au corps entier.

d) - Doses aux organes critiques.

Les gonades sont, chez l'adulte, en dehors du champ et la dose est pratiquement négligeable d'autant plus qu'en radioscopie l'opérateur vérifie que le champ est diaphragmé.

2) - La radiographie pulmonaire.

Elle se pratique en téléradiographie avec un champ dépassant nettement vers le bas les dimensions du film, mais les gonades sont protégées car l'incidence est toujours postéro-antérieure.

La dose d'exposition de 0,059 ± 0,009 r (L.) suffit pour une radiographie pulmonaire. Le champ est grand (36 X 43 au film au moins) et la dose intégrale est de 1,25 r.l en moyenne.

La dose gonades est de l'ordre du milliroentgen. REBOUL adopte les valeurs de 0,2 mr pour l'homme et 0,45 pour la femme.

Au niveau des 7ème et 8ème vertèbres dorsales, la dose absorbée varie de 0,83 à 1,9 mrads (WILSON). Pour LAUGHLIN, la dose totale à la moelle est de 22,5 gr.rad par film, soit de l'ordre de 0,020 rad à l'ensemble de la moelle.

3) - La radiophotographie.

Elle consiste à photographier sur film de petit format (70 X 70 m/m) l'écran radioscopique.

D'après 318 mesures portant sur 12 appareils différents en fonctionnement en Angleterre, la dose d'exposition moyenne est de 0,63 r, variant de 0,3 à 2 r par examen. Pour LAUGHLIN, cette dose est de 0,520 ± 0,022 r. La dose totale à la moelle varie de 50 à 156 g rads selon les installations. Les doses gonades restent négligeables.

4) - L'examen radiologique du poumon : l'ordre de grandeur du risque.

On peut donc dire que, en moyenne, la même information médicale peut être donnée par :

- une radioscopie de 60 secondes avec 3,4 r sur un champ moyen de 128 cm2 en moyenne,
- une radiographie avec 0,060 r sur un champ de 1500 cm2 environ,
- une radiophotographie avec 0,630 r sur le même champ.

A ne considérer que les doses d'exposition, ces trois modes d'examens sont dans les rapports de :

- 1 pour la radiographie, à
- 10 pour la radiophotographie, et
- 60 pour la radioscopie.

Mais en faisant intervenir les dimensions des champs (dose en r.cm2), on trouve

- en radioscopie = 443 r.cm2
- en radiographie = 90 r.cm2
- en radiophotographie =1000 r.cm2.

Et les rapports d'irradiation sont de l'ordre de :

- 1 pour la radiographie,
- 5 pour la radioscopie,
- 11 pour la radiophotographie.

En d'autres termes, la radiographie reste le procédé le plus économique : la radiophotographie demande une quantité de radiations dix fois supérieure, mais permet d'avoir à faible prix un document. La radioscopie - dans les bonnes conditions où elle a été faite à Hambourg par ARNAL - n'irradie pas tellement, mais ne laisse aucune trace photographique.

L'examen radiologique du poumon ne contribue guère à l'irradiation des gonades ni de la thyroïde.

Pour la moelle osseuse, l'ordre de grandeur de la dose supposée absorbée par la moelle dans sa totalité est de :

- 0,020 rad en graphie,
- 0,100 rad en radiophoto.

Pour l'ensemble de l'organisme, en supposant toujours la dose répartie dans la totalité du corps, l'ordre de grandeur du risque est :

- 0,020 rad en graphie,
- 0,050 rad en radioscopie.

Une cinquantaine de radiographies pulmonaires seraient ainsi l'équivalent d'une irradiation totale de 1 rad.

C - LA RADIOLOGIE DIGESTIVE.

1) - L'examen de l'estomac : scopie et graphies.

De loin le plus fréquent parmi les examens radiologiques importants, celui de l'estomac associe radioscopie et radiographies.

L'enquête anglaise menée en 1957, estime sur 890 examens, le nombre de films utilisés à 4,2 par examen. REBOUL et ISTIN estiment la consommation moyenne de films à 0,8185 m2.

La durée de la radioscopie est de l'ordre de 4 minutes :

- 3,46 minutes dans l'enquête anglaise,
- 3 minutes pour STANFORD et VANCE,
- 2 minutes 25 secondes à 19 minutes 03 avec 7 minutes en moyenne pour OSBORN,
- de 2 minutes 50 secondes à 12 minutes 485 avec 3 minutes 48 secondes en moyenne pour ARDRAN,
- de 10,34 minutes en moyenne pour ARNAL (entre 3 et 20 minutes).

Sur une même série de 600 examens, AIRTH trouve que le temps radioscopique intervient pour une dose d'exposition variant de 5 à 22 r, la dose la plus fréquente étant entre 7 et 12 r. Les plus fortes expositions concernent les examens difficiles (gastrectomie). Connaissant le résultat de ses premières mesures, AIRTH a tenté de diminuer la durée de son examen : il n'a pas pu descendre pour les cas les plus simples en dessous de 2 minutes environ, ne gagnant ainsi que 10 % sur les doses d'exposition moyennes précédentes.

La dose.surface moyenne est, chez les 505 malades de ARNAL, de 6670 r.cm2, avec un débit de dose de 8,1 r/minute et un

champ moyen de 79,5 cm2. La durée moyenne est plus élevée si l'estomac est anormal (11 minutes) que s'il est normal (9,45), mais le champ moyen est le même dans les deux cas. Les variations d'un opérateur à l'autre ne sont pas négligeables : de 3150 r.cm2 à 7800 r.cm2.

Pour les malades qui arrivent à pied, la dose.surface est de 6900 r.cm2, en brancard de 8750 r.cm2, soit 27 % de plus.

La dose intégrale est, pour ARNAL, de 34,1 r.l pour la scopie et de 7,5 r.l pour la graphie, soit 41,6 r.l.

Pour REINSMA, la dose intégrale est moins élevée : 17,3 kg.rads pour la scopie, 7,7 kg.rads pour la graphie, soit 25 kg.rads.

La dose gonades est, chez l'homme, de l'ordre de grandeur de 0,090 r (R.) et chez la femme de 0,300 r (R.). Mais selon d'autres estimations colligées par LAUGHLIN, peut atteindre le roentgen à l'ovaire. La dose à la moelle osseuse serait de 500 à 700 mrads sur six vertèbres dorsolombaires et quatre côtes (soit 14 % de la moelle).

Le risque correspond donc à un ordre de grandeur de :

- aux gonades = 0,100 chez l'homme et 0,300 à 1 rad chez la femme,
- à l'ensenble de l'organisme à 0,4 ou 0,6 rad,
- à l'ensenble de la moelle à 0,100 rad.

Les deux tiers du risque proviennent de la radioscopie lorsqu'elle est conventionnelle.

2) - Autres examens digestifs.

Les examens des viscères digestifs enplis de baryte comportent toujours un temps radioscopique : seule la cholécystographie n'en présente pas.

ARDRAN pour la durée de la radioscopie ; LAUGHLIN et REBOUL pour les doses-gonades ; ARNAL et REINSMA pour les doses intégrales absorbées, se sont principalement intéressés à la question.

a) - L'oesophage.

La durée de la radioscopie, en moyenne de 3,37 minutes d'après 67 examens) présente les plus grandes variations entre les examens normaux (2,04 minutes) et ceux où l'on trouve une anomalie (6,48 minutes). Le champ mesure en moyenne 78 cm2.

La dose.surface d'exposition est de 3313 r.cm2 dont 87 % pour la seule radioscopie (ARNAL). La dose intégrale absorbée est de 8,6 kg.rads dont 5,8 pour la scopie (REINSMA). L'irradiation de la moelle des vertèbres dorsales ne doit pas être négligeable. La dose-gonades est, par contre, infime : 0,006 chez l'homme et 0,010 chez la femme.

b) - Le grêle.

L'examen est essentiellement radiographique, mais le nombre de clichés (surface moyenne 1,10 m2) est élevé et l'irradiation est analogue à celle de deux urographies. S'ajoute cependant un temps radioscopique pour le dégagement de la dernière anse grêle qui peut être long.

c) - Le colon.

Le lavement baryté est l'examen qui demande le plus d'énergie absorbée : longue durée de scopie, grande dimension du champ.

Pour ARDRAN, la scopie dure de 4 minutes 35 secondes à 9 minutes 49 secondes (en moyenne 5 minutes 11 secondes). Pour ARNAL, elle dure 6,53 en moyenne (6 minutes si le colon est normal, 7,5 s'il est pathologique). Le champ est de 132 cm2, si bien que la dose.surface d'exposition est de 8601 r.cm2 pour la scopie (et 1600 pour la graphie). Pour REINSMA, la dose intégrale absorbée est de 58,8 kg.rads en moyenne, d'après 43 examens, dont 39,1 kg.rads pour

la scopie et 19,7 kg.rads pour la graphie. Le colon est donc le seul examen radiologique qui donne à l'organisme une dose d'énergie ionisante qui, si elle pouvait être répartie également, correspondrait à une irradiation totale à la dose de 1 rad.

La dose gonades est en moyenne de 0,314 rad chez l'homme et 0,264 chez la femme pour REBOUL. Mais BELL a trouvé qu'elle pouvait atteindre plusieurs rads à l'ovaire. Investigation radiologique courante, l'examen du colon reste donc dans la catégorie des examens pelviens pouvant présenter des risques génétiques ou somatiques vis-à-vis d'un embryon de quelques jours, méconnu.

d) - La vésicule biliaire.

La cholécystographie simple ne demande que 4 à 6 radiographies d'un format restreint (24 X 30), une exposition de 7 r et une dose intégrale de 4,8 kg.rads (REINSMA). La dose gonades est par film de 0,005 à 0,050 r à l'ovaire. Pour l'ensemble de l'examen, REBOUL adopte les chiffres de 0,045 r, chez l'homme, et 0,105 r chez la femme.

La cholangiographie per- ou post-opératoire, par contre, se fait avec radioscopie et la dose doit être augmentée en conséquence.

- LES EXAMENS DU PETIT BASSIN.

Les gonades sont, en général, toujours contenues dans le rayonnement direct, le testicule peut, dans la plupart des cas, être protégé, mais la protection de l'ovaire est plus aléatoire (projection variable, irradiation par le rayonnement diffusé) et est, en pratique, très peu répandue.

1) - Examens radiographiques simples.

Certains examens sont simples, seulement radiographiques : Une radiographie du bassin osseux, sans précaution particulière, en antéro-postérieur, demande une dose d'exposition de 0,35 à 5,3 r (L.).

La dose au testicule est à peu près la même que la dose d'exposition : 0,20 à 2,6 rads (L.), 1,5 rad (R.) par cliché.

La dose à l'ovaire, mesurée soit directement sur fantôme, soit indirectement à partir de la dose d'exposition à sa projection cutanée et du taux de transmission en profondeur, varie de 0,050 à 0,700 rad (L.) ou 1,300 rad (R.). Les ovaires sont supposés être situés à 9 cm de profondeur : la transmission est de 5 à 10 % (DEUIL).

Le cliché de profil du bassin est moins fréquent : la dose d'exposition est plus forte et l'ovaire relativement mieux protégé, mais il reçoit une dose de 0,220 à 2,800 rads (L.).

Les clichés de la colonne lombosacrée irradient le testicule à 0,250 rad et l'ovaire à 0,700 rad (REBOUL), ou beaucoup moins selon STANFORD et VANCE : 0,080 et 0,200 rad.

2) - Examens importants.

D'autres sont plus importants : uréthrocystographie et hystérographie qui, plus encore que le lavement baryté, irradient électivement les gonades et REBOUL admet, pour ces examens, en moyenne une dose gonades de 1,9 rad chez l'homme et 1,8 rad chez la femme. Ils sont les seuls à présenter un risque génétique correspondant à une irradiation de l'ordre de 2 rads.

Pour l'hystérographie, la durée de la radioscopie (ARDRAN) est de 2 minutes 18 secondes en moyenne (de 1 minute 43 sec. à 3 minutes 48 sec.). La dose ovaire pour l'ensemble de l'examen varie de 1,7 à 3,6 rads et en moyenne 2,5 (MARTIN).

L'uréthrocystographie délivre aux testicules de 4 à 8 rads, de 0,3 à 0,7 à l'ovaire (LAUGHLIN). PICK a trouvé, au cours du radiocinéma, chez sept femmes des doses ovaire allant de 0,2 à 4,9 rads pour l'examen complet. L'énergie totale absorbée est d'environ 10 kg.rads.

La pyélographie rétrograde demande de 1 minute 13 à 6 minutes 43 de scopie, en moyenne 5 minutes 34 (ARDRAN).

- LES AUTRES EXAMENS COURANTS.

1) - Les radiographies du squelette.

Les radiographies du squelette posent des problèmes dosimétriques plus simples : la dose à la peau est de l'ordre de 0,100 r, pour les membres ; à 0,300 pour le rachis. La dose intégrale absorbée est fonction du format des films et surtout de leur nombre. La dose à la moelle osseuse dépend de deux facteurs :

a) - profondeur de la moelle par rapport à la surface d'entrée. Dans l'ensemble, elle est de 7 cm, sauf pour les côtes ;

b) - proportion de moelle active irradiée et, chez l'adulte, il n'y en a plus guère dans les membres.

La dose gonades est fonction de la région examinée. REBOUL adopte pour la France les chiffres moyens suivants :

a) - A distance	Homme	Femme
crâne	0,0004	0,0006
colonne cervicale	0,002	0,003
colonne dorsale	0,010	0,045
membres supérieurs jambe	0,015	0,015
pied	0,0003	0,0004

b) - A proximité	Homme	Femme
main	0,025	0,0004
hanche	1,200	0,180.

On remarquera que la radiographie de la main en position assise, main sur la table, expose le testicule à une dose non négligeable.

2) - Le cas de la tomographie.

STIEVE a fait l'étude définitive de ce problème. Contrairement à ce que l'on peut envisager, un film tomographique requiert la même quantité de rayonnement qu'un film radiographique simple et la tomographie n'intervient que par le nombre de poses qu'elle nécessite. Seul le polytome demande une dose d'exposition supérieure, du fait de la grande distance objet-film.

La tomographie pulmonaire est la plus fréquente des tomographies, mais elle ne représente que 3,5 % des examens du poumon.

Une tomographie de vertèbre lombaire délivre aux gonades de 0,002 à 0,100 rad selon les techniques et les conformations anatomiques.

3) - Quelques examens importants.

Proportionnellement très peu fréquents, ces examens importants sont souvent répétés chez les mêmes malades et leur font donc courir un risque possible.

- La bronchographie demande 21,7 kg.rads dont 18,8 pour le temps radioscopique (REINSMA).
- Le rétropneumopéritoine avec ses six clichés, expose les gonades à 0,270 rad chez l'homme et 2,400 chez la femme (REBOUL).
- La splénoportographie qui comporte, en général, six clichés, donne une dose aux gonades de 0,070 rad chez l'homme et 0,100 rad chez la femme.

- Le cathétérisme cardiaque demande de 5 à 36 minutes de scopie avec un débit de dose variant de 1 à 8 r.minute. Soixante clichés au cours d'une angiocardiographie bidirectionnelle donnent une dose d'exposition de 15 r.

La dose intégrale absorbée mériterait d'être mesurée exactement à partir des champs moyens de scopie, ainsi que la dose médullaire moyenne, si l'on voulait voir à quel risque ont été exposés les enfants examinés avant l'amplificateur de brillance.

4) - Une cause oubliée d'irradiations : les radiographies dentaires.

ARDRAN et CROOKS, en Angleterre, GORSON aux Etats-Unis, ont étudié la qualité de l'appareillage utilisé par les dentistes. Le débit de dose, le C D A, le diamètre des champs varient largement d'une installation à l'autre. Les films dentaires sont employés sans écran renforçateur. La dose qui atteint les gonades (dents inférieures) est de l'ordre du millirad. La dose intégrale par film est de 45 gr. rad.

F - CAS PARTICULIERS DU FOETUS ET DE L'ENFANT.

1) - La radiologie chez la femme enceinte.

Beaucoup de mesures ont été faites afin de préciser le risque somatique couru par l'embryon lors de la radiographie de la femme enceinte, qu'il s'agisse :

- des examens ordinaires faits chez une femme enceinte : poumon, urographie et lavement baryté. Les doses absorbées par l'ovaire dans ce cas donnent l'ordre de grandeur des doses reçues par un embryon de quelques jours, ignoré lors de l'examen ;
- des examens obstétricaux : la pelvimétrie.

Des difficultés subsistent cependant, car le foetus ne saurait être assimilé à un point comme peut l'être l'ovaire. S'il est entièrement contenu dans le faisceau direct lors de ces clichés, il ne reçoit pas pour autant une irradiation totale homogène. Les régions situées du côté du point d'entrée, à 3 cm sous la peau, ne reçoivent que 30 à 40 % de la dose à la peau (selon les isodoses de SEELENTAG) et, les régions situées de l'autre côté, à 10 cm, n'en absorbent que 10 à 15 %. La plupart des auteurs se sont contentés de mesurer la dose d'exposition à la peau de la mère et ont estimé que le foetus avait été soumis à une irradiation générale homogène à une dose absorbée égale à cette dose d'exposition cutanée. Il semble que le risque ait ainsi été grandement exagéré.

BEWLEY et collaborateurs (1957), ainsi que CLAYTON et collaborateurs (1957) ont fait des mesures des doses en profondeur pour les principales incidences :

- de face en P.A. et A.P.,
- de profil,
- en vue oblique : bassin ouvert.

La position du foetus et de ses gonades et celle des ovaires maternels n'est pas la même par rapport au point d'entrée des rayons.

La dose au centre du foetus varie de 0,06 à 0,47 rad ou de 0,1 à 0,8 rad selon les incidences. La dose aux gonades du foetus est de l'ordre de 0,27 à 0,35 rad.

La position des ovaires maternels en fin de grossesse a été précisée par HIBEARD : ils siégeaient à 5 cm de l'épine iliaque antéro-supérieure, mais aussi bien en haut qu'en bas, en avant qu'en arrière. On comprend alors que les doses varient de 0,09 à 1,4 rad selon le côté et l'incidence.

L'irradiation du foetus au cours d'une pelvimétrie comportant trois clichés est donc de l'ordre de grandeur de $\frac{1}{2}$ à 1 rad, délivré à l'ensemble de son organisme, dans les conditions habituelles du radiodiagnostic : tension moyenne, films standards.

2) - Le radiodiagnostic en pédiatrie.

La radiologie de l'enfant et du nourrisson se pratique avec un appareillage conçu pour l'adulte, en particulier les cassettes, les sélecteurs et les diaphragmes ne sont pas d'un format réduit proportionnellement aux dimensions de l'enfant. De la naissance à l'âge de 15 ans, son poids passe de 3 à 45 kg. Un nouveau-né est contenu en entier dans un film de 36 X 43 utilisé pour la radiographie du poumon de l'adulte. Les viscères du nourrisson occupent la majeure partie de son tronc et l'examen de son estomac qui comporte toujours l'étude de l'oesophage équivaut à une irradiation régionale sans analogue, proportionnellement chez l'adulte.

a) - La radiographie du poumon.

La dose d'exposition est moins forte chez l'enfant que chez l'adulte, mais la diminution du champ irradié est proportionnellement plus importante surtout chez le jeune enfant.

CHASSAGNE et collaborateurs (1958) reprenant une série de radiographies pulmonaires faites sans précaution particulière dans des services d'enfants, trouvent que l'emplacement des gonades est visible sur les clichés 33 fois sur 100 avant l'âge de six mois, 14 % à 2 ans et 3 % au-delà de 4 ans. Cette fréquence est minimum, car le champ d'exposition a pu dépasser les bords des films.

b) - L'examen de l'estomac.

Nous avons montré (1962) que cet examen est le plus fréquent des examens importants du nourrisson et qu'il nécessite une consommation de films importants (0,34 m2 en moyenne) et un temps de radioscopie prolongé (7 minutes en moyenne). Si la dose gonades est négligeable, la dose moyenne à la moelle osseuse est de l'ordre de 1,2 rad avec la radioscopie conventionnelle et de 0,300 rad avec l'amplificateur de brillance.

Avec un champ cutané moyen de 140 cm2 et une dose d'exposition de 2 r, la dose intégrale est, chez un nourrisson de 10 cm d'épaisseur, de 10 à 12 kg.rads et tout se passe comme si un nourrisson de 3 kg avait reçu dans l'ensemble de l'organisme 3,5 rads, un nourrisson de 5 kg, 2 rads et de 7 kg, 1,5 rad.

L'examen radiologique de l'estomac du nourrisson conduit avec repérage radioscopique fait courir un risque supérieur à celui de la pelvimétrie.

Les autres examens de l'enfant présentent un risque somatique proportionnellement supérieur à ceux de l'adulte, à cause de la mauvaise collimation habituelle du faisceau et un risque génétique plus élevé pour des raisons anatomiques. Il est possible que l'enfant présente une sensibilité particulière des tissus et surtout il est exposé, pendant toute sa vie, à être à nouveau en contact avec les radiations.

G - LES EXPLORATIONS ISOTOPIQUES.

Mode d'investigation récent, les explorations isotopiques se sont rapidement développées et tendent à être demandées aussi souvent que les autres examens radiologiques. Deux d'entre elles surtout sont courantes : l'exploration de la fonction thyroïdienne par l'iode radio-actif et l'étude fonctionnelle et anatomique du foie par l'iode ou l'or radio-actif.

1) - L'exploration de la thyroïde.

La thyroïde est l'organe le plus fortement irradié puisqu'elle conserve environ 50 % de l'iode et que ses isotopes émettent des bêta qui perdent toute leur énergie dans l'intimité de la glande. Avec l'iode 131, la dose totale reçue par la thyroïde est de l'ordre de 20 à 30 rads chez l'enfant (TUBIANA et VALLEE) et, chez l'adulte, de 10 à 20 rads. A distance, l'organisme est irradié de quatre manières :

- par les gammas émis par la thyroïde,
- par l'iode des urines conservées dans la vessie,
- par le colon en cas de constipation,
- Ces deux causes irradient les ovaires, surtout à droite, par l'iode circulant.

BERCY (1957), WEIJER, DUGGAN et SCOTT (1960) ont mesuré les doses absorbées au cours du traitement des hyperthyroïdies avec 10 mc d'iode :

- la dose gonades est de l'ordre de 0,45 rad par mc absorbé (de 0,13 à 1,17) ;
- la dose à l'ensemble de l'organisme est de l'ordre de 0,08 rad pour les bêta et 0,08 rad pour les gamma par mc.

Pour une épreuve diagnostique, les doses sont 100 fois moindres ; pour une étude topographique elles le sont 10 fois moins environ.

2) - La scintigraphie hépatique.

Avec le rose bengale marqué à l'iode radio-actif, 80 à 90 % de l'isotope est élimine en 48 heures. L'irradiation est homogène dans les 1.500 grammes de foie : elle est de l'ordre de 2 rads (1 pour les bêta, 1 pour les gamma). L'irradiation somatique générale est de 0,01 rad.

Avec l'or radio-actif, la dose au foie est de 12 rads (9 pour les bêta et 3 pour les gamma) et de 0,15 rad à l'ensemble de l'organisme (PRIEUR).

Les explorations isotopiques contribuent donc à une irradiation non négligeable de l'organe critique (de l'ordre de 1 à 20 rads), tandis que la dose gonades et générale est insignifiante.

- L'IRRADIATION DU PERSONNEL MEDICAL -

Le personnel qui participe aux examens radiologiques est inégalement exposé lors de son activité.

Aux premiers temps de la radiologie, de nombreux points de rayonnement direct se produisaient au niveau du tube et l'écran de petites dimensions n'était pas toujours contenu dans le faisceau : le radiologue était donc exposé au rayonnement direct qui avait déjà traversé le malade ou était passé sur ses côtes. Toute dosimétrie rétrospective est impossible.

Depuis, de nombreuses mesures des doses d'exposition au cours de la pratique radiologique ont été faites :

- en différents points de la salle (rayonnement d'ambiance) (SAVART, SANTAGOSTINI),
- au niveau des mains des opérateurs (RITVO),
- au niveau des gonades qui sont situées à hauteur de la table.

La main est exposée à une dose élevée si elle reste dans le faisceau, ce qui est le cas classique du chirurgien réduisant ses fractures sous écran, sans porter de gants, et du manipulateur tenant les cassettes en salle d'orthopédie (CHANTEUR et MORONI). Plus couramment maintenant, cette faute est encore commise lors de l'uréthrographie, de l'artériographie carotidienne et de la splénoportographie. Elle l'est surtout par le personnel des services de radiopédiatrie qui maintient les enfants. La dose d'exposition à la main est de l'ordre de 0,01 à 1 r par examen.

En fait, le rayonnement diffusé mesuré par les dosimètres donne une exposition élevée mais son énergie est faible et il est totalement absorbé dans les premiers mm de tissus : la dose absorbée par la couche basale de l'épiderme n'est pas toujours négligeable cependant, et toute appréciation du risque seul par le personnel des services de radiologie est très difficile. La surveillance du personnel par des dosimètres externes ne renseigne que sur leur expo-

sition d'anbiance, nais ne pernet pas d'évaluer les doses absorbées conne cela est possible dans les centres atoniques où les rayonnements rencontrés sont des ganna pénétrants et où la contanination est continuellenent détectée. L'extrapolation au radiodiagnostic des nesures d'hygiène atonique est donc sujette à caution.

x x

x

La nesure des doses reçues par les nalades lors de leur examen radiologique nécessite donc deux temps :

- dosimétrie proprement dite, au cours de chaque exanen,
- calcul pour chaque individu des doses de radiation qu'il a absorbée au cours de plusieurs exanens.

Aucune de ces étapes n'est, en pratique, résolue d'une manière aussi satisfaisante qu'elle peut l'être dans l'industrie atonique. On est donc réduit à des approximations et l'indéterminination qui porte sur la dosinétrie explique les discussions sur l'inportance réelle du risque dû aux radiations ionisantes.

Néannoins, un progrès senble pouvoir être acconpli :

- dans les esprits, en distinguant la dose absorbée de la dose d'exposition,
- dans les appareils de nesure qui permettent d'évaluer directement et en routine l'énergie totale du faisceau enployé pour l'exanen.

Cette neilleure connaissance du niveau d'irradiations auxquelles les nalades auront été soumis, pernettra de nême de nouvelles enquêtes épidéniologiques sur les affections, peut-être en rapport avec les radiations : certaines leucoses, certains cancers et certaines nalformations congénitales.

CHAPITRE IV - L'IRRADIATION DE LA MOELLE OSSEUSE : LES RADIOLEUCOSES.

Les conséquences hématologiques de l'irradiation à fortes doses sont connues depuis les premiers temps de la radiothérapie. Les risques d'aplasie après irradiation générale ont fait l'objet de travaux considérables depuis l'explosion de la première bombe atomique et les encouragements portés à l'étude des conséquences de l'irradiation totale ne sont pas toujours dépourvus d'arrière-pensées militaires. Il n'en reste pas moins que la radiobiologie humaine en a profité. Les travaux les plus récents portent sur des sujets irradiés à fortes doses, lors d'accidents de réacteurs atomiques, ou dans le but de diminuer les réactions immunitaires avant une greffe d'organe.

L'apparition de leucoses chez les premiers radiologistes avec une fréquence assez grande a amené très tôt à évoquer une relation de cause à effet entre l'exposition professionnelle à de faibles doses de radiations répétées pendant de longues années et l'apparition ultérieure d'une aplasie médullaire, ou d'une leucémie.

Puis on a évoqué la possibilité de voir des leucoses induites par des traitements par les radiations, puis, par extrapolation, par des examens de radiodiagnostic répétés ou importants.

On envisagera successivement :

1 - l'épidémiologie de la leucémie,
2 - les caractères généraux des enquêtes,
3 - résultats de ces enquêtes,
4 - Discussion : le risque leukémogène du radiodiagnostic est-il prouvé ?

A - RAPPEL DES NOTIONS d'EPIDEMIOLOGIE CONCERNANT LES LEUCOSES.

La leucose est une maladie peu fréquente. En France, le nombre de décès par leucémies de toutes formes déclaré en 1960, est de 1284 chez la femme, et 1543 chez l'homme (LE GUERINAIS et MAUJOL), et le total des décès probables doit être de 1401 chez l'homme et de 1683 chez la femme, une fois faites les extrapolations statistiques. La fréquence s'élève à 6 pour 100.000 habitants chez la femme et 7,4 chez l'homme, avec la structure démographique de la population française. En corrigeant cet effet démographique, on trouve, dans une population théorique, les taux probables standardisés suivants :

- chez la femme = en 1950, 2,3 pour 100.000
  = en 1960, 3,6 " " ,
  soit une augmentation de 56 % ;

- chez l'homme = en 1950, 3,4 pour 100.000
  = en 1960, 5,5 " " ,
  soit une augmentation de 62 %.

En gros, survient donc chaque année une leucose pour 20.000 habitants en France.

- L'augmentation de fréquence, les années récentes, est un phénomène mondial :

  - Aux Etats-Unis, le taux des leucémies passe de 2,5 en 1920 à 4,0 en 1940, et 6,0 en 1950 (pour 100.000 habitants) ;
  - il en est de même en Angleterre.

Il semble bien que cette augmentation de fréquence reflète un phénomène réel et ne soit pas due à une meilleure connaissance de l'affection : en particulier, la proportion des formes hyperleucocytaires, de diagnostic aisé, et des formes aiguës leucopéniques, dont le diagnostic n'est porté qu'après ponction médullaire, reste constante, les deux formes augmentant parallèlement (J. BERNARD).

- La répartition bien particulière selon l'âge est à retenir si l'on veut tenter d'expliquer tout ou partie des leucoses par les radiations ionisantes.

- Les leucoses sont exceptionnelles à la naissance, très rares pendant la première année,
- Elles sont fréquentes entre 18 mois et 7 ans, et toutes les statistiques nationales montrent un accroissement relatif de la fréquence très net vers l'âge de 4 ans,
- un nouveau pic est noté parfois vers 15-19 ans,
- la fréquence augmente ensuite assez régulièrement avec l'âge, puisque en France, en 1960 :

le taux entre 10 et 14 ans est de 2,9 et 3,2 pour 100.000
entre 40 et 44 ans " " 4,8 et 5,2 " "
entre 70 et 74 ans " "16,9 et 30,8 " "

L'accroissement est plus fort chez les hommes que chez les femmes à partir de l'âge adulte.

La connaissance de ces taux de fréquence dans la population générale est indispensable si l'on veut mettre en évidence, dans un groupe privilégié, une surmortalité spécifique : c'est le cas des mongoliens. Chez les sujets exposés aux radiations, les enquêtes citées plus loin ne sont pas concordantes. En tout cas, on mesure la fragilité des conclusions tirées de ce genre d'enquêtes statistiques lorsque l'on se rappelle le petit nombre sur lequel portent les cas observés et les difficultés de diagnostiquer certaines formes.

- Les variations géographiques et sociales.

Les nombreuses enquêtes épidémiologiques sur les leucoses - une des affections les plus étudiées sur ce plan médico-social - ont montré des variations significatives selon les régions et les classes sociales. C'est ainsi que les leucoses sont plus fréquentes à la ville qu'à la campagne et dans les classes aisées que les classes pauvres (aux Etats-Unis). Mais ces constatations n'ont de valeur que s'il n'y a pas de biais systématique dans ces sondages, tenant en

particulier au niveau médical du milieu étudié et au recrutement des services hospitaliers. De même, ces constatations révèlent une covariance, mais ne permettent pas de prouver de relation entre la cause et l'effet.

Quant aux variations géographiques, on a surtout voulu les mettre en corrélation avec le niveau de rayonnement naturel.

- Sur le plan clinique, on doit distinguer les radioleucoses certaines des radioleucoses supposées. Les premières se sont vues il y a une vingtaine d'années chez les radiologues et surtout vers 1950 chez les survivants d'Hiroshima. Ce sont à peu près les seules dont on soit sûr, encore qu'une leucose du type cryptogénétique habituel ait pû survenir chez un sujet par ailleurs irradié. Les autres sont supposées être dues aux radiations, pour tout ou partie. Mais les séries statistiques montrent cependant que les antécédents d'irradiations ne se voient électivement que dans deux types hématologiques :

- la leucose myéloïde, qu'elle soit chronique ou plus souvent aiguë, myéloblastique,
- la leucose aiguë de type aleucémique, cette dernière plutôt après irradiations aiguës et alors difficile à distinguer de l'aplasie médullaire.

Les radioleucoses chroniques sont résistantes à la radiothérapie spécifique et leur évolution paraît relativement plus courte (J. BERNARD, M. BOIRON et P. CORNU, 1958 ; MARCHAL, 1958).

JB - CARACTERES GENERAUX DES ENQUETES.

Depuis dix ans, de nombreuses enquêtes parfois contradictoires ont cherché à mettre en évidence :

1 - l'augmentation de fréquence des leucoses chez les sujets irradiés ou inversement,
2 - les antécédents d'irradiation préalable des sujets leucosiques.

1) - Enquêtes prospectives et rétrospectives.

Ces enquêtes sont, au plan de la méthode, de deux types :

a) - Les enquêtes prospectives. Elles consistent à retrouver ce que sont devenus plusieurs années après l'irradiation les sujets d'une population particulière.

1 - parfois, la surveillance est continue à partir de l'irradiation. C'est ainsi que l'Atomic Bomb Casualty, Commission Scientifique Americano-japonaise, surveille depuis 1945 les quelques soixante-mille japonais qui ont été bombardés, avec une proportion relativement faible de non-réponses, malgré des difficultés psychologiques et pratiques que représente une enquête. L'enquête en cours dans de nombreux centres anticancéreux du monde sur le devenir hématologique des cancers utérins irradiés est de même type. Il faut attendre de ces études une meilleure connaissance des stades précoces ou infracliniques de l'affection.

2 - Le plus souvent l'enquête a consisté à retrouver dans les archives d'un ou plusieurs services de radiologie les fiches de malades irradiés il y a de nombreuses années (par exemple thymus de nourrissons irradiés ou femmes ayant subi une pelvimétrie), à les retrouver, soit individuellement, soit dans les fichiers nationaux des leucémies et affections malignes que possèdent certains pays.

Ces enquêtes sont objectives dans la mesure où elles se font sur documents, mais sont incomplètes dans la mesure où d'autres irradiations ne sont pas retrouvées : elles risquent de sous-estimer les irradiations.

b) - Les enquêtes rétrospectives. Elles consistent à interroger les leucémiques ou leurs parents pour retrouver dans leurs antécédents d'éventuelles expositions aux radiations.

Il faut faire la plus grande attention à la manière de poser les questions, introduire des questions-pièges permettant le recoupement, car la mémoire des mères de leucosiques est très grande : si elles retrouvent avec fidélité tous les antécédents de l'enfant, en particulier les antécédents d'irradiations sur lesquels le public est averti, il n'en est pas de même pour les parents des malades pris comme témoins.

C'est ainsi que Alice STEWARD (1956) a été trahie dans sa première enquête, les parents des enfants morts de leucémie ou de tumeur maligne se souvenant bien mieux des antécédents de leur enfant. On a proposé de choisir comme témoins les frères et soeurs du leucosique, mais là encore la mémoire des parents est sélective.

Le choix de la population témoin est aussi délicat. On ne peut pas toujours les prendre dans la population générale. On s'adresse à des camarades de classe ou à des voisins, plus souvent à des malades hospitalisés pour d'autres raisons.

L'analyse statistique permet de dire sur combien d'enfants doivent porter ces enquêtes, quels correctifs apporter aux taux de réponse et le degré de significativité des différences statistiques constatées.

2) - L'évaluation des doses absorbées par la moelle.

Toutes ces enquêtes ont en commun la difficulté de passer des commémoratifs aux doses effectivement reçues par la moelle osseuse.

a) - Les registres anciens des services de radiothérapie ne mentionnent pas les doses d'exposition, mais seulement le débit en mA de l'appareil et le temps d'exposition, et il faut reconstituer l'appa-

reillage d'époque pour faire la mesure des doses. Cela a été fait par SIMPSON et HEMPELMANN qui ont pu montrer qu'avec la technique employée, vers 1940, la dose reçue à trois centimètres de profondeur derrière le sternum était de 205 rads.

L'irradiation des malades retrouvés n'est pas toujours la même : elle est largement dispersée de part et d'autre d'une dose moyenne et, le plus souvent, on se contente de distinguer deux ou trois classes de malades selon, non pas la dose reçue, mais le nombre de séances d'irradiation qu'ils ont subies.

La dosimétrie est un peu plus facile en cas de curiéthérapie (du cancer du col), car la notation employée en mcd permet, sans ambiguité, de recommencer l'irradiation sur fantôme dans des conditions identiques.

b) - la mesure des doses reçues par les japonais bombardés est plus difficile encore, du fait de la complexité du rayonnement (gamma et neutrons) et, plus encore, de l'ignorance exacte de la protection dont avaient bénéficié les survivants et leur position lors de l'explosion. On a alors mesuré indirectement l'irradiation reçue d'après l'importance des troubles cutanés (érythème, dépilation) et la distance entre l'endroit où ils étaient et l'hypocentre de l'explosion.

c) - En matière de radiodiagnostic, l'incertitude est plus grande. Les doses en radiothérapie sont relativement élevées (200 à 1000 r à la peau) et les dimensions des champs à la peau sont le plus souvent connues. Par contre, si on connait le nombre de films radiographiques impressionnés, on ne sait pas de combien le champ d'irradiation dépassait les limites du plus. D'autant que la radioscopie qui contribue pour la plus forte proportion à l'irradiation n'est presque jamais mentionnée sur les registres : on ignore tout de son débit de dose et de sa durée.

3) - Les différents modes d'irradiation.

On a étudié les effets leukémogènes des radiations chez l'homme dans quelques séries particulières qui ne présentent évidemment pas la souplesse des protocoles de l'expérimentation animale où l'on peut faire varier à la demande :

- la dose de radiation,
- le débit de l'irradiation,
- l'importance du secteur médullaire irradié,
- le fractionnement des doses dans le temps,
- l'état physiologique lors de l'irradiation.

Cependant, on possède un assez large éventail de types d'irradiations survenues chez des sujets en nombre suffisant pour permettre des études statistiques valables.

a) - La région médullaire irradiée.

1 - L'irradiation est considérée comme totale :

- chez les bombardés japonais,
- chez les embryons dont la mère a été, soit radiotraitée pour cancer du col, soit radiographiée au niveau du bassin (urographie, pelvimétrie).

Lors de la radiothérapie par l'iode 131 de cancers de la thyroïde : à côté du point chaud thyroïdien, l'irradiation par voie sanguine est générale. Mais l'irradiation médullaire n'est jamais vraiment homogène, sauf peut-être dans le cas des polycythémies traitées par le P 32.

2 - L'irradiation est régionale dans les cas de :

- examens de radiodiagnostic,
- radiothérapie rachidienne de la pelvispondylite rhumatismale,
- radiothérapie et curiéthérapie de cancers du col utérin,
- radiothérapie des thymus des nourrissons lorsque les champs sont larges, couvrant la majeure partie du thorax.

3 - L'irradiation est locale en cas de :

- radiothérapie des thymus avec des petits champs (4 x 4) chez les nourrissons, car chez eux la moelle est contenue pour moitié dans les membres,
- radiothérapie des angiomes superficiels, surtout traités par buckythérapie.

b) - Le rythme de l'irradiation.

1 - On doit distinguer les irradiations selon leur nombre :

- uniques = cas d'un seul examen radiologique ou d'une seule séance de radiations,
- multiples = cas de la radiothérapie habituelle et des examens radiologiques répétés.

2 - La durée de l'irradiation est variable :

- instantanée = bombe atomique par le rayonnement gamma, mais prolongée du fait de la radioactivité interne induite par les neutrons (on la considère comme négligeable) et surtout de l'absorption d'émetteurs bêta,
- de courte durée = ordre de grandeur : une seconde pour la radiographie et 10^2 secondes pour la radioscopie pulmonaire à 10^3 pour le cathétérisme et la radiothérapie,
- de longue durée = 10^6 pour les traitements isotopiques (I^{131}, P^{32}).
- chronique = radioactivité de fond.

Les mécanismes radiobiologiques ne sont pas les mêmes selon qu'il y a ou non des pauses dans l'irradiation et selon que le débit en est constant ou non.

c) - L'ordre de grandeur de la dose à la moelle.

Il faut distinguer la dose maximum à la moelle au niveau du secteur irradié et la dose moyenne en supposant que tout se passe

comme si la dose intégrale absorbée par la moelle se répartissait également entre les différents secteurs. Cette approximation n'est permise que si l'irradiation est de longue durée par rapport aux mouvements physiologiques d'échange des cellules médullaires d'un secteur à l'autre.

L'irradiation maximum en un point est :

1 - forte (ordre de grandeur 10^3 rads) dans la radiothérapie anticancéreuse,
2 - moyenne (ordre de grandeur 10^2 rads) dans la radiothérapie anti-inflammatoire ou les examens radioscopiques prolongés (cathétérismes intra-cardiaques avant l'amplificateur de brillance),
3 - faible (de l'ordre de 10 rads) dans les examens radioscopiques pulmonaires,
4 - très faible (de l'ordre de 1 rad) dans la radiographie d'un abdomen de femme enceinte (au niveau de la moelle du foetus). La dose annuelle de radiations naturelles dans les régions de forte radioactivité est du même ordre.

4) - L'état physiologique du sujet lors de l'irradiation.

Il varie d'une manière importante. On sait expérimentalement que la réponse des animaux aux radiations varie selon leur âge.

Il est possible que l'effet leukémogène relatif varie avec l'âge et l'on doit distinguer selon, notamment leurs réponses immunitaires, l'embryon, le nourrisson, l'adulte.

De même, il peut y avoir des variations selon le sexe et la prédominance masculine des leucoses le suggère.

Enfin, il peut y avoir des différences entre :

1 - les sujets cancéreux qui risquent peut-être de développer plus volontiers une leucose, et

2 - les sujets supposés sains. C'est dire alors l'intérêt, en cas d'enquête comparative, de prendre des témoins très proches, par exemple des P.S.R. radiotraitées et des spondylarthrites semblables non irradiées.

Il n'est pas exclu enfin que des enfants chez qui on fait des angiocardiographies, pour des malformations cardiaques congénitales, n'aient pas un patrimoine génétique particulier les exposant aux leucémies.

5) - Tous ces facteurs sont liés.

On discute les relations de cause à effet entre la leucose et l'exposition aux radiations dans des circonstances cliniques peu contraignantes pour l'esprit. Toujours un doute subsiste, à cause de la complexité des facteurs en cause.

C'est ainsi que :

a) - l'irradiation globale de la pelvimétrie à faibles doses concerne un embryon,

b) - les irradiations à fortes doses sont régionales ou locales et s'étalent sur plusieurs jours (thymus) ou semaines, ou voire années (spondylarthrite),

c) - l'irradiation chronique des radiologistes est locale et superficielle et s'étend sur des dizaines d'années.

Les modèles radiobiologiques les plus simples restent :

- les explosions atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki (forte dose - générale - instantanée) ;
- l'irradiation continue des régions à forte radioactivité ambiante (faible dose - générale - permanente), mais toutes deux ne permettent pas de conclure avec certitude quant au danger des examens radiologiques de la pratique médicale courante.

C - ARGUMENTS CLINIQUES CONCERNANT LES RADIOLEUCOSES HUMAINES.

On peut classer les arguments cliniques tendant à prouver l'action des radiations sur l'apparition des leucoses humaines en cinq catégories :

1 - L'étude des japonais bombardés à Hiroshima et Nagasaki ;
2 - Les enquêtes rétrospectives chez les leucosiques ;
3 - Les enquêtes prospectives chez les patients irradiés ;
4 - Le cas particulier des irradiations prénatales ;
5 - Celui des irradiations par radio-isotopes.

1) - Les enseignements fournis par les explosions atomiques.

D'après HOLLINGSWORTH, les doses reçues par les survivants du fait des retombées radio-actives et de l'activation neutronique, sont négligeables et l'essentiel de l'irradiation provient de l'éclair de l'explosion et du rayonnement gamma émis peu après par les radio-isotopes à vie très courte.

A moins de mille mètres de l'hypocentre, la dose absorbée a été de 400 à 800 rads, mais il y a eu peu de survivants, sinon les personnes protégées par un écran.

Au-delà de 2.000 mètres, la dose a été inférieure à 20 rads.

Au total, 60.000 survivants sont suivis dont 7.000 qui ont présenté des éléments du syndrome d'irradiation aiguë.

Les leucémies parmi ces survivants ont commencé à être plus fréquentes à partir de 1948 et ont atteint un maximum entre 1950 et 1952. On a constaté surtout des leucoses myéloïdes chroniques et quelques leucoses aiguës. Entre 1947 et 1957, 85 cas ont été identifiés.

. La fréquence au lieu de 1 à 2 pour 10^5 japonais a atteint 8,9 par an (HEYSSEL, WALD).

2) - Les antécédents d'irradiations chez les leucosiques.

Il arrive parfois qu'en interrogeant un leucosique, on retrouve une affection tel l'ulcus gastrique ou la tuberculose pulmonaire qui encourage à rechercher les antécédents d'exposition aux radiations.

q) - Les gros consommateurs d'examens radiologiques.

Parfois, le nombre d'examens radiologiques est considérable et motive la publication de cas privilégiés.

J. BESANÇON et collaborateurs rapportent une observation de leucose myéloïde clinique chez un ancien tuberculeux ayant subi au moins 180 séances de radioscopie pulmonaire lors de réinsufflations hebdomadaires d'un pneumothorax, 61 clichés pulmonaires standards, 10 séries de tomographies et une angiocardiographie dans les dix années précédentes.

SAUVEGRAIN et collaborateurs rapportent un cas de leucose aiguë chez un enfant de 4 ans ayant été opéré d'une hernie diaphragmatique et subi de nombreux examens radioscopiques et radiocinématographiques.

BERAUD et BASTIDE trouvent dans les antécédents d'un leucosique de 2 ans ½ trois interventions chirurgicales pour hernie hiatale avec 82 radiographies et quelques 96 minutes d'observation radioscopique.

b) - Observation de cancers radiotraités devenant leucosiques.

On connaît un nombre croissant de cancers irradiés terminés par des leucoses aiguës.

MERKLEN et WOLF publient dès 1925 un cas compliquant la radiothérapie de fibrome utérin. La plupart des centres anticancéreux questionnés se souviennent de quelques cas isolés de leucoses compliquant tardivement des cancers utérins.

SIMON, BRUCER et HAYES interrogeant 38 centres anticancéreux du monde retrouvent 16 leucoses dont 4 lymphoïdes chroniques, mais aucune surveillance systématique n'avait été faite du sang de ces malades.

MOLONEY (1959) publie le premier cas de leucose après radiothérapie de cancers du sein, puis ZOGRAPHOV (1962), un cas semblable.

Dans tous ces cas, la leucose survient souvent moins de deux ans après la radiothérapie. Il s'agit de cas isolés et il n'est pas possible d'établir un taux de fréquence et de comparer à une population témoin.

c) - Ainsi, l'interrogatoire systématique des leucosiques à la recherche d'antécédents d'exposition aux radiations, est-il une meilleure méthode.

BOUSSER, sur 278 leucosiques, trouve 14 expositions dont 9 dans un but diagnostic (dont 8 tuberculoses pulmonaires).

L'irradiation serait plus fréquente chez les enfants leucosiques que chez les témoins pour MANNING et pour A. STEWART.

A.-M. MERY comparant 102 enfants leucémiques parisiens à 309 témoins, ne trouve pas de différence significative pour les antécédents personnels d'irradiation post-natale.

En fait, l'intérêt s'est surtout porté sur les antécédents d'irradiation anté-natale chez les enfants leucosiques, mais nous croyons préférable de traiter à part de cette question, car elle présente un intérêt radiobiologique particulier et pose des problèmes de technique radiologique spéciaux.

3) - Les enquêtes prospectives chez les sujets irradiés.

Quatre populations ont été particulièrement suivies : les radiologues exposés à une irradiation superficielle et chronique, les patients atteints d'affections bénignes (spondylarthrite, hypertrophie thymique) soignés par radiothérapie, les malades ayant subi des examens radiologiques répétés.

a) - Les leucoses des radiologistes.

Sur le mémorial de l'Hôpital St-Georges de Hambourg, se trouvent les noms de 359 radiologistes victimes de la science : nombreux au début du siècle, ils le sont de moins en moins au fur et à mesure des générations. Une importante proportion est morte électrocutée et de cancers certains, quelques-uns d'aplasie médullaire et de leucose.

Plusieurs enquêtes ont été effectuées chez les radiologistes. MARCH signale sur 66.104 médecins décédés aux Etats-Unis entre 1928 et 1948 - et dont la cause du décès est colligée par l'A.M.A. - l'existence d'une leucose dans 348 cas avec un taux de fréquence de 4,7 % chez les radiologistes contre 0,53 % chez les non-radiologistes. ULRICH trouve dans une statistique portant sur 34.626 médecins, 3,9 % de leucose chez les radiologistes contre 0,44 % chez les autres médecins. SELTSER et SARTWELL (1959), comparant 869 radiologistes américains à 1.170 bactériologistes, trouvent 11 cas de leucémie chez les premiers. LEWIS, sur la période 1932-1952, trouve 17 leucoses chez 1.850 radiologistes âgés de 35 à 75 ans, soit un taux supérieur à celui des médecins non spécialistes.

L'existence d'une augmentation de fréquence des leucoses chez les radiologistes de la première moitié du siècle est donc un fait solidement admis mais d'un intérêt radiobiologique et médical assez limité :

1 - On ignore tout des doses reçues à la moelle. Les radiologues du début du siècle ont aussi bien manipulé le radium

que la radioscopie. Il en est même qui ont nargué les radiations en se soumettant à des séances de téléradiothérapie (25 r à la peau) afin de lutter contre la fatigue. Il est vraisemblable en tout cas que l'irradiation a atteint des doses totales très importantes (10^3 rads ?).

2 - Le danger professionnel des rayons X n'existe plus avec l'appareillage actuel.

3 - Le rythme de l'exposition professionnelle aux rayons X de ces premiers radiologues n'est pas comparable à celui auquel peut être soumis le malade examiné radiologiquement.

b) - La radiothérapie des spondylarthrites ankylosantes.

Dans leur travail fondamental, COURT BROWN et DOLL (1957) ont retrouvé 13.352 sujets atteints de pelvispondylite rhumatismale ayant subi de la radiothérapie. 49 ont présenté une leucémie, une myélofibrose ou une anémie aplastique. La fréquence globale des leucoses est de 45 pour 100.000 par an au lieu de 5 dans une population comparable, soit 9 fois plus.

GRAHAM retrouve 591 pelvispondylites, 146 ont été radiotraitées avec 4 cas de leucose. La population témoin de 446 pelvispondylites non irradiées ne montre aucune leucose. La dose moyenne à la moelle a été de 677 rads, la dose intégrale de 14,2 megagr. rads et chaque leucémique avait reçu au moins trois séries de radiothérapie. Le délai d'induction a été de 8 mois à 8 ans $\frac{1}{2}$.

MORENO, par contre, compare 150 cas traités par les rayons X à 142 cas non traités avec un recul de 1 à 18 ans, ne trouve aucune leucose.

c) - Le devenir des thymus irradiés.

Un autre groupe de malades présente un grand intérêt radiobiologique : les nourrissons ayant reçu de la radiothérapie pour hyperplasie thymique.

- Les rayons ont été appliqués à proximité d'un autre organe critique, la thyroïde, et l'on sait qu'une plus forte proportion de cancers de la thyroïde ont été retrouvés chez eux.

- Le secteur médullaire irradié n'est pas très important chez le nourrisson, mais la dose intégrale absorbée est, relativement au poids, très élevée.

- La grande mode de la radiothérapie pour hypertrophie thymique date des années 30, encore que la première irradiation semble avoir été pratiquée en 1905 à Cincinnati par FRIEDLANDER comme le rappelle SILVERMAN.

- Le nombre d'enfants irradiés est élevé et les enquêtes faites portent sur quelques milliers retrouvés avec, ce qui est le plus intéressant, un recul atteignant souvent vingt ans.

Les premiers cas de leucose sont signalés par DAMESHEK et SIMPSON (1954).

L'enquête de LATOURETTE et HODGES porte sur 958 enfants irradiés entre 1938 et 1951. Sur les 99 décès, on trouve une leucose. La dose à 3 cm de profondeur derrière le sternum était en moyenne de 207 rads.

SIMPSON et HEMPELMANN trouvent une fréquence plus élevée : 7 leucoses sur 1.502 enfants et la différence avec la population générale est hautement significative : 32 pour 10^5 par an au lieu de 3.

D'autres enquêtes du même type ne confirment pas ce risque leukémogène : SNEGIREFF (1959) ne trouve aucune leucose chez 148 enfants. CONTI à Pittsburg ne retrouve aucune leucose chez 1.564 enfants irradiés entre 1938 et 1946, dont 224 dès la naissance. Mais il est possible que la technique employée, petit champ de 4 X 4 cm, explique ce résultat.

MURRAY, HECKEL et HEMPELMANN ne trouvent aucune leucose

chez 2.601 enfants ayant subi de la radiothérapie superficielle pour angiome, mais on trouve 8, soit une fréquence 7 fois supérieure, chez les enfants ayant reçu entre 1930 et 1956 de la radiothérapie profonde pour hypertrophie thymique (3.150 cas), coqueluche (75) ou quelques autres affections bénignes.

Quoi qu'il en soit, le risque leukénogène semble admis d'après ces enquêtes de valeur, possédant un recul supérieur au délai habituel d'induction des leucoses. Les doses de radiations absorbées paraissent très élevées et, en tout cas, bien supérieures à celles du radiodiagnostic habituel. Cependant, elles semblent être de l'ordre de grandeur de celles délivrées lors des examens digestifs répétés du nourrisson.

d) - Les examens radiologiques fréquents.

La tuberculose pulmonaire est la maladie qui motive le plus grand nombre d'examens radiologiques et surtout radioscopiques et affecte une population d'individus suffisamment grande pour avoir une valeur statistique. De plus, les tuberculeux suivis dans des institutions propres sont assez faciles à surveiller, leurs fiches sont aisément retrouvables, ce qui donne de la valeur aux enquêtes objectives.

- BEGEMANN signale que 0,9 tuberculeux sur 1.000, en sanatorium, meurent de leucose.
- NEUMANN (1962) a suivi de 1954 à 1960 la population de Stuttgart au-delà de l'âge de 15 ans. Les tuberculeux représentent 26.000 années individuelles de surveillance. Ils ont présenté 4 leucoses aiguës myéloblastiques et une myéloïde chronique (ainsi que 4 cas de leucose lymphoïde) et cette fréquence est à la limite de la significativité.
- Ceci est aussi l'opinion intuitive de FAUVET et PIERRART qui écrivent : "Ces malades pendant 4 ans ou 6 ans, parfois plus, en cas de pneumos bilatéraux successifs, ont subi des centaines d'examens radioscopiques prolongés, sans parler des

radiographies et des tomographies ; tout ceci avec des appareils dont la protection était nettement moins bonne que celle des appareils actuels. Or, tant de notre expérience que de l'enquête à laquelle nous avons pu procéder, il apparaît que ni le cancer, ni la leucémie n'ont une particulière fréquence chez ces anciens tuberculeux".

Une autre catégorie de malades souvent examinés est représentée par les rhumatisants cardiaques et les malades atteints de malformations congénitales du coeur qui subissent des angiocardiographies et des radioscopies répétées.

BIRCH et BAKER (1960) ont suivi 1.480 enfants qui avaient, entre 1916 et 1932, subi au moins trois examens radioscopiques dans un service de cardiologie. Ces scopies étaient faites par des non radiologistes et souvent répétées et prolongées pour des raisons pédagogiques. Le nombre moyen de radioscopies est de 18 pour les 746 filles et 17 pour les 734 garçons de l'enquête. Aucun cas de leucose n'a été constaté au cours de ces 26.314 années individuelles de recul.

Le radiodiagnostic, même dans les conditions anciennes de la technique, ne semble pas présenter de risque leukémogène précis.

4) - Le cas particulier des irradiations prénatales.

L'augmentation de fréquence de la leucose vers l'âge de 4 ans, durée qui correspond au délai d'irradiation habituel des radioleucoses, suggère l'hypothèse selon laquelle la mutation somatique intervient avant la naissance. La pelvimétrie, examen courant depuis une vingtaine d'années, qui expose l'embryon à une irradiation totale, fournissait la possibilité d'enquêtes approfondies.

- La première enquête est celle de Miss STEWART qui eut le mérite d'attirer l'attention des chercheurs sur le passé prénatal des leucosiques. Ses conclusions furent pessimistes lors des résultats préliminaires (1956) et plus nuancés ensuite (1958). L'en-

quête avait porté sur 1.299 mères d'enfants décédés avant l'âge de 10 ans de leucose (619 cas) et de cancer (680 cas) en Angleterre et dans le pays de Galles, et 1.299 mères d'enfants témoins. 13,7 % des mères d'enfants leucosiques avaient été irradiées pendant la grossesse (178 examens dont 153 pelviens), tandis que seulement 7,2 % de mères témoins l'avaient été. La plupart des expositions aux rayons X avaient eu lieu en début de grossesse.

- D'autres travaux confirment la thèse d'A. STEWART, pour la plupart il s'agit d'enquêtes rétrospectives.

  - FORD (1959) trouve dans les enfants morts de leucose avant l'âge de 10 ans une plus grande fréquence d'irradiations (21 sur 78, soit 26 %) que chez les témoins (56 sur 306, soit 19 %).

  - KAPLAN (1959) comparant deux groupes de 150 enfants trouve des antécédents d'irradiations in utero 37 fois (soit 25 %) chez les leucosiques et 24 fois (soit 16 %) chez le frère ou la soeur le plus proche.

  - POLHEMUS (1959) trouve sur 251 leucosiques 75 irradiations (28,7 %) contre 58 chez un même nombre de témoins (soit 23,1 %), mais cette différence est à la limite de la significativité.

Utilisant une méthode objective, en partant des fichiers de la Maternité de l'Hôpital St-Antoine, LEJEUNE (1960) trouve 3 leucoses chez 667 enfants irradiés (soit 0,45 %) contre une seule chez 2.749 enfants témoins (0,03 %).

Si ces travaux semblent montrer la réalité du risque leukémogène et admettre qu'une pelvimétrie double le risque de leucémie, trois grandes enquêtes prospectives de grande valeur statistique ne confirment pas ces premières constatations.

a) - L'enquête de M. LEWIS au Queen Charlotte's Hospital de Londres.

Entre 1943 et 1958, 45.195 enfants sont nés à cet hôpital

et 25,3 % d'entre eux ont été irradiés in utero : cette proportion est supérieure à celle de l'ensemble de l'Angleterre (16 %).

8 décès par leucémie ont été trouvés et il est probable qu'en réalité il y en a eu 10 parmi les enfants nés dans cet hôpital. Sur ces 8 leucosiques, un seul a été irradié in utero et n'a subi qu'une radiographie de profil de l'abdomen peu avant la naissance. Les 7 autres enfants n'ont pas été radiographiés. On oppose donc la fréquence 1 leucosique sur 1.808 enfants non irradiés à 1 sur 4.291 ayant été radiographiés, conclusion qui va à l'encontre des constatations précédentes.

b) - L'enquête de COURT BROWN, DOLL et BRADFORT HILL (1960).

Dans 8 hôpitaux de Londres et d'Edimburg, tous les examens radiologiques ayant été pratiqués entre 1945 et 1956 chez des femmes enceintes ont été relevés. 41.826 grossesses ont ainsi été repérées.

Les catégories d'irradiations ont été les suivantes :

- une seule pelvimétrie	14.768	enfants	nés	vivants
- une pelvimétrie + une autre exposition	4.561	"	"	"
- un seul cliché abdominal	16.584	"	"	"
- un cliché abdominal et une autre exposition	2.166	"	"	"
- urographie intraveineuse	553	"	"	"
- divers	534	"	"	"
total	39.166	enfants vivants examinés		

L'identification des leucémies s'est faite par comparaison avec le fichier central des décès par leucose : 9 leucoses ont été trouvées (4 aiguës lymphoblastiques, 1 aiguë myéloblastique, 1 lymphoïde, 1 aleucémique, 1 subaiguë, 1 de type indéterminé), alors que l'on aurait dû en trouver 10,5 en appliquant les tables de mortalité de l'ensemble du pays. Le risque leucosique ne se trouve donc pas confirmé.

c) - L'enquête de Mac MAHON (1962).

En 1958, Mac MAHON avait étudié, par sondage au 1/100 dans onze maternités new yorkaises, 2.520 enfants : 7,3 % avaient été irradiés in utero. Parallèlement, sur 114 leucosiques de moins de 10 ans, il trouvait exactement le même taux (8/114, soit 7,3 %) d'antécédents d'irradiation. Il a repris cette enquête d'une manière plus étendue dans 37 hôpitaux du Nord-Est des Etats-Unis et retenu un échantillon de 7.242 enfants sur un total de 734.243 naissances. Par ailleurs, il a étudié les antécédents de 556 enfants leucosiques et cancéreux morts dans la même région. La fréquence de l'irradiation des femmes enceintes est de 10,6 %, soit 770 examens se répartissant en :

- 1 ou 2 films 183
- pelvimétrie 520
- examens multiples 67.

Les enfants décédés ont été radiographiés 85 fois, soit 15,3 %, soit 40 % plus souvent que l'ensemble des enfants de la région.

Ainsi, le problème du risque de la pelvimétrie et des irradiations diagnostic, à faibles doses, de l'embryon a été abordé par toutes les méthodes d'investigation. Les enquêtes rétrospectives subjectives trouvent un risque leukémogène à peu près double. Les enquêtes prospectives trouvent des résultats variables : risque élevé d'après LEJEUNE, sur un petit nombre de cas, risque inexistant pour LEWIS et pour COURT BROWN, risque de 1,4 plus grand pour Mc MAHON. Le chiffre de ces derniers serait à retenir, car il correspond, après corrections, à celui trouvé le plus souvent dans les autres enquêtes. S'il y a un risque, ce qui n'est pas absolument certain, il n'aurait pour effet que d'augmenter de 40 % la fréquence des leucoses "spontanées", mais on ne peut préciser plus finement son importance en fonction du nombre de radiographies, des doses exactes à la moelle de l'embryon et de l'âge de celui-ci.

Tout récemment (1962), MAGNIN, à Lyon, ne retrouve aucun cas de leucémie chez 5.353 enfants irradiés in utero entre 1948 et 1956.

5) - Radiothérapie métabolique et leucose.

Il ne semble pas avoir été signalé de leucose chez les patients ayant absorbé des éléments radio-actifs employés en clinique humaine comme traceurs.

Le choix de ces éléments à périodes biologiques et physiques courtes et la sensibilité des appareils de détection font que les doses de radiations absorbées par l'organisme dans sa totalité, et la moelle osseuse en particulier, sont extrêmement faibles et ne présentent pas de risque notable. Il est possible que des cas de leucose apparaissent chez des patients ayant subi des investigations diagnostiques par les radio-isotopes usuels dépourvues d'ostéotropisme : leur exceptionnelle rareté les fera considérer comme des coïncidences et rechercher, soit une contamination par un autre élément, soit une erreur de dosage.

Le problème de la radiothérapie métabolique par les radio-éléments est tout autre, car les doses délivrées au niveau de l'organe cible (qui est la moelle osseuse dans le cas des ^{32}P) sont importantes (de l'ordre de grandeur de 10^2 rads). Si la thyroïde hyperactive de la maladie de Basedow fixe une forte proportion de l'iode ingéré, protégeant ainsi la moelle osseuse, il n'en est pas de même en cas de cancer, métastasique ou non, et la dose d'iode restant dans l'organisme, non fixé par la thyroïde et non encore éliminé par le rein, reste élevée pendant quelques jours (10^1 à 10^2 rads).

Des cas de leucose ont été signalés et le rôle des radiations dans leur apparition a été discuté.

a) - Les leucoses après traitement des hyperthyroïdies.

La revue générale de POCHIN fait le point de la question, reprise depuis par WERNER.

En 1960, environ 60.000 malades avaient été traités pour hyperthyroïdie aux Etats-Unis, en Angleterre, au Canada et en Autriche. On possède un recul de 220.000 années-patients. Dix-huit cas de leucose sont connus parmi ces malades, huit précédemment publiés et dix autres que POCHIN a collectés auprès des laboratoires d'isotopes de ces pays. Sur 17 cas de types connus, il y a 13 leucoses aiguës. Le nombre des leucoses spontanées dans cette population donnée aurait dû être de 14 à 28 : il n'est donc pas possible d'attribuer ces leucoses au radio-iode absorbé, même si les délais entre la prise de l'iode et l'apparition de la leucose sont de l'ordre de grandeur des périodes d'induction des radioleucoses. BURNS depuis, rapporte deux nouveaux cas survenus aux Etats-Unis.

b) - Les leucoses après traitement des cancers de la thyroïde par l'iode radio-actif.

L'ordre de grandeur des doses de radio-isotopes n'est plus de 5 à 10 mc, mais de 100 à 400 mc et les doses à la moelle de 50 à 200 fois supérieures. La radiothérapie par voie externe est souvent associée sur la tumeur thyroïdienne ou sur ses métastases.

OZARDA a retrouvé quatre cas dans la littérature, deux d'entre eux ayant été précédemment irradiés par les rayons X ou le radium : les doses d'iode radio-actif ont varié de 258 à 1.455 mc et la leucose est survenue de 1 à 3 ans après la première prise. Il s'agissait de deux leucoses subaiguës myéloblastiques, une leucose aiguë myéloblastique et une monoblastique.

Il rapporte un cas personnel de leucose myéloïde chronique survenue trois ans après la première prise (dose totale 346 mc, soit une dose calculée à la moelle de 200 rads environ).

D'autres cas ont été publiés (DELARUE, JELLIFFE), mais aucune enquête n'est en mesure d'apprécier l'appoint leukémogène que les radiations ajoutent aux métastases de cancer thyroïdien.

c) - Leucose et maladie de Vaquez.

Le P^{32} est le traitement de choix de la polycythémie. Dans trois grandes séries récemment publiées, de nombreux cas de leucose sont signalés :

	Nombre de cas	Leucoses
- TUBIANA (1961)	310	8
- FAUVERT (1961)	200	3
- LEDLIE (1960)	117	6

A ces 17 leucoses, dont 11 leucoses aiguës et 7 myéloïdes chroniques, il faut ajouter, chez les 510 malades des séries françaises, 19 cancers et 14 myélosclérosés. La transformation en leucose aiguë dans des délais de un à quatre ans après l'irradiation n'est donc pas fortuite, mais on ne peut pas dire quel est le rôle de la bêtathérapie interne que crée le phosphore radio-actif.

Ces leucoses se voient plutôt dans des formes de Vaquez réagissant mal au traitement et présentant une leucocytose élevée. La fréquence de l'association aux cancers viscéraux et de l'évolution vers la myélosclérose plaide en faveur d'une transformation naturelle de la polycythémie vers la leucose, rendue plus fréquente par la prolongation que procure le traitement par le phosphore. Il n'a pas été signalé de leucose dans des cas de cancers et de leucoses lymphoïdes traités par le P^{32}.

d) - Autres radiothérapies métaboliques.

Si l'on a décrit quelques cas de leucose chez les malades ayant subi des injections de thorothrast ou ayant absorbé accidentellement du radium, avec un délai de latence d'une dizaine d'années, il n'en n'a pas, à notre connaissance, été rapporté à la suite de l'emploi, à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, d'autres iso-

topes (Fe 59, Ca 47), mais leur emploi est encore très peu répandu.

D - PLACE ET ROLE DES RADIATIONS IONISANTES DANS LA GENESE DES LEUCOSES.

Plusieurs points restent en discussion.

1) - La relation entre la dose et la fréquence des leucoses.

Il est démontré que pour de fortes doses de radiations à la moelle osseuse, la leucémie peut apparaître avec une plus grande fréquence que normalement et qu'il semble y avoir une relation entre la fréquence de la leucémie et la dose reçue.

- Pour une exposition unique (explosion atomique), la relation dose-fréquence est approximativement linéaire au-delà d'une dose de 100 r. Le risque est d'environ 1 à 2 leucoses par million de personnes exposées, par année et par rad (CRONKITE, WALD).

- Pour des expositions multiples (radiothérapie) il en est de même, ainsi que le suggère COURT BROWN pour la spondylarthrite ankylosante où l'on trouve une fréquence de 14,4 entre 250 et 500 rads et de 87 pour 1.250 rads. Si bien que l'on ne peut, en calculant la pente de la droite de régression, évaluer une dose doublante, multipliant par deux la fréquence des leucoses qu'au-delà de la dose minime de 100 r et non au dessous. Cette dose serait d'au moins 50 rads (LEWIS) en moyenne à la moelle dans sa totalité.

2) - Le délai d'induction.

Un autre point acquis est que la leucose n'apparaît qu'environ quatre ans après l'exposition aux radiations, ainsi que le prouvent :

- l'analyse statistique de l'intervalle entre les différentes séries de radiothérapie pour la spondylarthrite et l'apparition de la leucose,

- l'augmentation de fréquence des leucoses vers l'âge de quatre ans en cas d'irradiation prénatale et vers 1950 chez les bombardés japonais.

Au-delà de la quinzième année, il semble que le risque leukémogène ait été compensé.

3) - Le problème des faibles doses de radiations : existe-t-il un seuil ?

Pour des doses plus faibles, en dessous de 100 r, rien ne permet de dire si la relation est encore linéaire et s'il existe ou non un seuil au dessous duquel les mécanismes de restauration permettent à l'action nocive des radiations d'être compensée.

Il y a autant d'arguments pour l'existence de ce seuil que contre. La leucose étant une affection rare, il faut suivre des populations importantes, ne différant que par l'importance de ce faible risque. Or, le matériel radiobiologique humain est très limité. On connaît mal les doses reçues lors des examens radiologiques ; les doses varient largement d'un malade à l'autre lorsqu'il s'agit d'un examen radiologique important.

Le nombre des sujets à suivre est très élevé. BUCK a calculé qu'il faudrait suivre trois millions de personnes pendant un an si elles reçoivent 1 rad à la moelle ou trois-cent-mille pendant dix ans si l'on voulait trouver une différence statistiquement significative par rapport à une population témoin de même dimension. SEGALL a proposé une formule pour étudier les dimensions de l'enquête idéale. On ne voit pas très bien quel examen radiologique pourrait servir de sujet d'étude. Par contre, il existe des populations soumises à une radio-activité naturelle plus forte que d'autres (régions granitique et sablonneuse) et on a essayé d'y étudier les variations régionales de fréquence des leucoses.

COURT BROWN n'a pas pu expliquer la plus grande fréquence des leucoses à ABERDENN (146 %) et à EDIMBURGH (124 %) et la plus

faible fréquence à GLASGOW (87 %), par l'existence de roches granitiques à ABERDEEN et de roches sédimentaires ailleurs. La différence de niveau de consommation radiologique expliquerait peut-être mieux ces différences.

Une étude est en cours et dans l'état de Kérala où la radio-activité naturelle est très élevée, comparé à Ceylan : la structure démographique des deux populations est comparable et près de 80.000 femmes résident dans la région riche en monazite.

Mais, même si ces études montraient une différence significative des taux de leucose, ces constatations ne seraient pas extrapolables au radiodiagnostic où l'exposition est aiguë et régionale.

4) - <u>L'irradiation et l'état antérieur du patient</u>.

L'état clinique des sujets exposés intervient aussi.

a) - Tantôt, il s'agit de cancéreux radiotraités et il est possible que la même cause détermine à la fois le cancer et, ensuite, la leucémie.

b) - Ailleurs, la spondylarthrite peut faire le lit de la leucose, soit directement, soit par l'intermédiaire des drogues antirhumatismales absorbées et BEAN a rapporté six cas de leucose avec antécédents de traitement par la phénylbutazone.

c) - Parmi les hypertrophies thymiques irradiées, un bon nombre n'étaient pas des artéfacts de radiodiagnostic, comme cela était fréquent avec les appareils anciens où le temps de pose était long par rapport à la révolution cardiaque et respiratoire. Des observations d'aplasie médullaire associée à des tumeurs thymiques montrent que le thymus présente certaines relations avec la moelle osseuse et que l'hyperplasie thymique des nourrissons est à elle seule un antécédent hématologique non négligeable.

d) - De même, un examen radiologique surtout s'il est important, est prescrit dans des circonstances cliniques d'appel et l'affection en cause, notamment les malformations congénitales, peuvent présenter certains liens avec la leucose ultérieure.

e) - Quant à l'irradiation in utero, elle pose les problèmes les plus difficiles. C'est à la suite de ces irradiations totales in utero que l'on aurait dû rencontrer le plus de radioleucoses car il n'existe pas chez l'embryon de barrière immunologique et aucune pression de sélection ne devrait s'opposer à celle des cellules mutantes.

5) - La mutation somatique induite par les radiations.

a) - Les aberrations chromosoniques sont fréquemment retrouvées dans les leucémies, portant sur le nombre et la morphologie des chromosomes et ces anomalies restent stables à la mitose. Il est donc permis de penser qu'un groupe de cellules présentant la même anomalie chromosomique appartient à la même souche et que chacun de ses éléments cellulaires constitue un clone dérivant d'une même cellule mère (FORD, 1961).

Ces anomalies chromosoniques peuvent être interprétées de trois manières :

- elles peuvent être associées au processus causal,
- elles peuvent être secondaires à la prolifération néoplasique,
- elles peuvent n'être qu'une conséquence de l'affection.

Ces anomalies ont été constatées avant tout chez les mongoliens au niveau du chromosome triple 21. J. STEWART et SANDERSON croient avoir vu un chromosome anormal dans les leucocytes d'un malade de 15 ans atteint de syndrome de Klinefelter quatre jours après une radiographie du squelette et ont tenté d'attribuer à l'irradiation cet aspect anormal.

b) - Quoi qu'il en soit, et la voie ouverte par l'étude des chromosones risque d'être riche d'enseignements, on admet actuellement que la radioleucose est une mutation somatique induite par les radiations. A. STEWART se demande s'il n'existe pas deux sortes de leucémies de l'enfance, les unes prézygotiques, les autres postzygotiques. Elle admet la théorie de ROUS de la cocarcinogenèse selon laquelle le développement des cancers passerait par deux stades d'initiation, puis de promotion.

Les phénonènes "initiateurs" créent une mutation dans les cellules germinales : elle demeure silencieuse jusqu'à ce qu'un élément "promoteur" apparaisse qui peut être une anomalie génotypique associée ou surtout le stress de l'embryogenèse.

L'irradiation peut être l'élément initiateur, qu'elle survienne avant la conception (prézygotique), ou pendant la grossesse (postzygotique). Un grand rôle est attribué à l'infection qui peut jouer le rôle de promoteur vis-à-vis des leucocytes.

Les leucoses à lymphoblastes et à monoblastes qui se voient plutôt chez les garçons et les mongoliens seraient prézygotiques, tandis que les leucoses à myéloblastes seraient postzygotiques.

6) - Voies de recherches.

Selon cette conception, le rôle des radiations serait déplacé : au lieu d'agir pendant la grossesse, elles pourraient aussi le faire avant la conception et le risque leukémogène des radiations ne serait pas indépendant du risque génétique. Tous les travaux de radiobiologie clinique seraient alors à reprendre sur des bases nouvelles : il faudrait rechercher par enquête les antécédents d'irradiation des parents ou suivre les descendants des populations ayant été irradiés. Ces recherches seront très difficiles, longues, coûteuses et demanderont une grande prudence d'interprétation.

Pour le moment, deux enquêtes prospectives parmi d'autres sont en cours :

a) - l'une sur les leucoses chez les cancers du col utérin irradiés (HUTCHINSON, LISCO, Mac MAHON et NICKSON), menée dans de nombreux centres anticancéreux, de manière à établir la relation, la fréquence réelle du risque radiothérapique et saisir les stades hématologiques préleucémiques. Si la leucose est dix fois plus fréquente que normalement, il faut suivre 2.400 femmes pendant cinq ans, pour avoir des résultats statistiquement significatifs et si le risque est trois fois plus grand, en suivre 14.400. L'espérance de survie des cancers du col utérin est de 50 % à cinq ans et les trente centres anticancéreux mondiaux participant à l'enquête peuvent réunir 26.000 malades (dont 22.000 avec dose à la moelle élevée, 2.800 avec dose moyenne, 1.400 sans irradiation).

b) - L'autre que nous menons dans cinq services de radio parisiens et deux services lyonnais, aura pour but de suivre les quelques 8 à 10.000 enfants à l'état-civil complet ayant subi entre 1953 et 1961 près de 44.000 examens radiologiques importants (abdomen, tractus digestif et urinaire).

Il est probable que ces contributions nouvelles à l'épidémiologie des leucoses feront innocenter le radiodiagnostic dans la genèse des leucémies.

Pour LEWIS, 10 à 20 % de celles-ci pourraient être attribués au rayonnement naturel, environ autant à la radiologie médicale et 5 % à la radiothérapie. Le ou les agents leukémogènes devraient donc être recherchés ailleurs. Mais le simple fait que le radiodiagnostic ait été suspecté demande à replacer le risque radiologique dans le cadre général du risque médical.

CHAPITRE V - L'IRRADIATION DES ORGANES SENSIBLES : LES RADIOCANCERS.

Si, chez l'animal, la production de cancers par les radiations est facile, les protocoles expérimentaux sont loin des conditions d'irradiations du radiodiagnostic.

Chez l'homme, de même, les cas rencontrés de cancers en relation avec une irradiation préalable se sont vus dans des conditions assez éloignées de celles du radiodiagnostic quant à la dose totale de radiations et à son rythme dans le temps.

Trois modes d'irradiations ont pu donner des cancers humains, en dehors des leucémies :

1 - Le bombardement atomique : irradiation aiguë généralisée à forte dose,
2 - La radiothérapie : irradiation aiguë locale, à forte dose,
3 - L'exposition professionnelle aux radiations : irradiation chronique, à fortes doses totales, localisée préférentiellement à un organe critique.

Dans tous ces cas, la dose totale absorbée est largement supérieure à celle du radiodiagnostic. Mais des examens répétés, surtout s'ils sont importants, peuvent réaliser des irradiations régionales, subaiguës à fortes doses et se rapprocher des circonstances précédentes.

Aussi faudra-t-il se demander, après avoir étudié les enseignements fournis par la clinique, s'il est possible d'extrapoler ce risque cancérigène aux conditions du radiodiagnostic.

A - FREQUENCE DES TUMEURS MALIGNES CHEZ LES SUJETS IRRADIES.

Deux enquêtes globales donnent une idée du risque cancérigène après irradiation.

1) - Chez les survivants d'Hiroshima (HARADA et ISHIDA).

Environ 1.750 cas de cancers et 810 tumeurs bénignes ont été constatés entre Mai 1957 et Décembre 1958, chez les survivants ; le recul de douze ans après l'irradiation correspond au délai habituel d'induction des radiocancers.

La fréquence du cancer varie avec la dose reçue : les survivants situés à moins de mille mètres ont quatre fois plus de cancers que les sujets non exposés, et les tumeurs bénignes sont statistiquement plus fréquentes à moins de 1.500 mètres.

Les cancers du poumon, de l'estomac, de l'utérus et de l'ovaire sont plus fréquents que dans une population témoin de même sexe et du même âge. Il semble que l'augmentation des cancers soit absolue et qu'elle ne s'explique pas par un phénomène général de vieillissement accéléré.

2) - Chez les enfants radioscopés.

Parmi les 1.480 enfants cardiaques, examinés radioscopiquement à de nombreuses reprises, BIRCH et BAKER ont constaté l'apparition d'un cancer du sein et d'un lymphosarcome généralisé, ainsi que 8 tumeurs bénignes de la thyroïde et 5 adénomes du sein. On ne peut pas en conclure une plus grande fréquence du cancer.

Cette enquête est la seule qui traite des examens radiologiques importants et répétés.

Nombreux sont les autres travaux qui concernent un organe déterminé où le cancer est apparu dans les suites d'une irradiation à son niveau : thyroïde, os, poumon avant tout.

B - CANCERS DE LA THYROIDE ET IRRADIATION.

Le cou est un organe assez peu souvent radiographié et le poumon est examiné en position postéro-antérieure : la thyroïde reçoit donc relativement peu de radiations du fait du radiodiagnostic. Mais l'emploi croissant de l'iode radio-actif à des fins diagnostiques a attiré l'attention et la sensibilité de cet organe est maintenant bien connue.

Les doses reçues par la thyroïde dans les cas cliniques de cancers après irradiations sont élevées :

- de l'ordre de 10^3 rads en cas de radiothérapie du larynx ou de la prise de dose thérapeutique d'I^{131} pour hyperthyroïdie,
- de l'ordre de 10^2 rads lors de la radiothérapie du thymus,
- de 10^1 rads lors de la radiothérapie du cavum ou du test à l'iode 131.

Mais les rythmes d'irradiation sont différents :

- discontinu par séances de dix minutes en deux ou trois semaines en cas de radiothérapie externe,
- continu et décroissant en fonction des doubles périodes physiques et biologiques avec l'iode radio-actif.

1) - Les antécédents d'irradiations chez les cancers thyroïdiens de l'enfance.

Alors qu'en 1930, on ne trouvait dans la littérature que dix cas de cancer de la thyroïde chez l'enfant, plus de 160 sont publiés en 1950.

A cette date, DUFFY et FITZGERALD trouvent que dix fois sur 28, les cancers thyroïdiens de l'enfance étudiés au Memorial Hospital ont reçu dans la première enfance de la radiothérapie sur le thymus. Cet antécédent est retrouvé 16 fois sur les 37 enfants

du John Hopkins Hospital (WILSON et ASPER). CLARK recherchant avec soin des antécédents d'irradiations les trouve treize fois sur seize. Sur une série de onze cas étudiés avec R. COLIEZ, nous avons trouvé trois fois de la radiothérapie plusieurs années avant, pour angiome cervical, otite ou végétations adénoïdes.

WINSHIP et ROSVOLL, anatomopathologistes à Washington, étudient depuis 1948 le cancer thyroïdien de l'enfant et en ont recueilli dans la littérature et auprès de nombreux centres mondiaux plus de 650 cas connus avant l'âge de 15 ans. Sur un total de 286 cas, ils ont la certitude que les antécédents d'irradiations ont été recherchés : on les a retrouvés dans une proportion très élevée (80 %). La raison en était l'hypertrophie thymique, les végétations adénoïdes, les amygdalites et, plus rarement, l'acné ou l'eczéma. Les doses à la peau variaient de 180 à 6.000 r avec une moyenne de 600. En moyenne il s'était écoulé 8,6 années entre l'irradiation et la survenue du cancer. Il n'y a pas de forme histologique préférentielle. La radiosensibilité particulière de la thyroïde de l'enfant est donc bien mise en évidence : c'est le cancer de l'enfant dans les antécédents duquel on a retrouvé avec la plus grande fréquence de la radiothérapie.

2) - La fréquence des cancers thyroïdiens après radiothérapie de l'enfance.

Mais les enquêtes prospectives étudiant le devenir des enfants irradiés, montrent que le cancer n'est pas la complication constante de la radiothérapie faite dans le jeune âge. Elle est même relativement exceptionnelle.

SIMPSON et HEMPELMANN trouvent, chez 1.502 enfants irradiés pour hypertrophie thymique, 17 cancers de la thyroïde parmi les 18 tumeurs malignes découvertes, alors qu'il n'y en a pas chez les 1.933 témoins. La dose moyenne à la thyroïde a été de 180 r (champ à la peau supérieur à 6 X 8 cm). L'irradiation a été faite dans le premier mois de la vie, les cancers sont apparus avant l'âge de 20 ans.

De même, SAENGER trouve 11 cancers de la thyroïde chez 1.644 enfants irradiés sur le thymus et aucun chez les 3.777 témoins.

GARLAND, par contre, ne trouve qu'un cas sur 1.780 et CONTI aucun sur 1.564 enfants. UHLMAN observant pendant 7 ans 480 enfants irradiés sur le cavum et les amygdales, ne trouve aucun cas de cancer de la thyroïde. SALAUN non plus sur un total de 126 enfants irradiés par GIBERT.

Il semble donc y avoir une relation entre la dose à la thyroïde et l'apparition du cancer, puisque la radiothérapie sur le thymus irradié bien plus la thyroïde que ne le font les rayons X appliqués latéralement par des champs préauriculaires.

3) - Le problème des cancers de l'adulte.

Il est intéressant de savoir si la thyroïde est particulièrement sensible chez l'enfant, ou si seules les doses administrées, le recul que l'on possède et la valeur des enquêtes menées essentiellement chez l'enfant, ne rendent pas compte de cette apparente susceptibilité aux radiations.

Sur 157 cancers de l'adulte, nous avons trouvé trois fois des antécédents de radiothérapie pratiquée avant l'âge de 15 ans pour papillomatose laryngée ou hyperthyroïdie, à des doses très fortes, ayant laissé des séquelles cutanées : le délai entre l'irradiation et le diagnostic de cancer variait de 19 à 44 ans.

JELLIFFE vient de publier un cas qui serait le 11ème de la littérature : dans tous ces cas la dose appliquée à la thyroïde était très élevée et le délai de latence de plusieurs dizaines d'années.

Il semble donc que l'irradiation du cou, passée la première enfance, n'expose à la dégénérescence thyroïdienne que si la dose reçue a été très forte (10^3 rads) et après un délai de latence très long. Un premier stade de la tumeur pourrait être l'adénome prémalin dont WILSON a rapporté deux cas après irradiation.

4) - La radiothérapie métabolique de la thyroïde : ses risques potentiels.

Dans le cas de la thyroïde plus encore que dans celui de la moelle osseuse, on ne sait pas si l'extrapolation est permise aux faibles doses et s'il y a ou non un seuil au dessous duquel le risque cancérigène est compensé. L'essentiel de la dose reçue est dû au rayonnement bêta. Pour une thyroïde de 5 grammes chez un enfant de 30 kg fixant 50 %, les doses reçues sont de 7 rads par microcurie d'I^{131} et de 0,15 rad par microcurie d'I^{132}. L'exploration isotopique à l'iode 131 équivaut à une irradiation de 20 à 30 rads et l'iode 132 doit être préféré chez l'enfant.

L'irradiation par l'iode 131 pour hyperthyroïdie de l'enfant a rarement été pratiquée, mais SHELINE a traité 5 malades de moins de dix ans et a trouvé 2 adénomes dont un dégénéré huit ans après. Sur 13 malades entre 10 et 20 ans, il a aussi constaté l'apparition d'un adénome. Les doses thérapeutiques, de l'ordre de 0,5 à 3,6 mc ont délivré des doses de radiations de 3.000 à 10.000 rads à la glande.

Cependant, on ne peut pas conclure avec certitude sur la relation entre l'irradiation et la tumeur : l'hyperfonctionnement endocrinien de la glande qui a motivé le traitement n'est peut-être pas étranger à cette dégénérescence.

C - LES LESIONS DUES AU THOROTHRAST.

Le thorium est un radio-élément à vie longue mais il se désintègre en une série d'éléments à vie courte, émetteurs de particules alpha ayant une forte densité d'ionisation sur un faible parcours. De poids atomique élevé, il a été introduit comme opacifiant radiologique sous forme de dioxide colloïdal par OKA au Japon et RADT en Allemagne, puis employé en artériographie par E. MONIZ dès 1931. Excellent opacifiant, son emploi s'est vite développé.

Mais on s'aperçut vite que, chez l'animal, il mettait des mois et années à s'éliminer, retenu par le système réticuloendothélial et qu'apparaissaient des lésions sanguines et rénales, En 1932, ce produit fut déconseillé aux Etats-Unis, sur les constatations expérimentales, mais son emploi continua chez l'homme pendant des années, car aucune conséquence n'était signalée.

C'est en effet en 1947 seulement que Mac MAHON signala le premier cas d'endothéliosarcome du foie survenu douze ans après une hépatosplénographie.

Depuis, plusieurs dizaines de cas ont été rapportés. LOONEY y a consacré une revue générale en 1960 et, depuis, des cas sont régulièrement signalés, surtout en Allemagne.

Les cancers sont, soit des sarcomes, soit des épithéliomas. Ils siègent au niveau de l'injection : sarcome du cou après artériographie carotidienne et extravasation du produit, épithélioma bronchique après bronchographie, du sinus maxillaire après opacification, de la paupière après dacryocystographie. Mais le plus souvent, on le retrouve dans la rate, le foie ou les reins où il produit des sarcomes et des épithéliomas. Les tumeurs apparues moins de seize ans après l'injection sont des sarcomes, ultérieurement ce sont des épithéliomas.

La dose de radiations est difficile à évaluer. On peut l'estimer à 14 rads le premier jour, puis à 3 rads par jour la première année au corps entier. Lorsqu'il y a rétention élective, la dose peut atteindre 30 rads par jour. L'ordre de grandeur au niveau de l'organe critique serait de 10^3 à 10^4 rads au total.

Le cancer est souvent précédé ou associé à des tumeurs bénignes (réaction au corps étranger colloïdal) et la maladie du thorothrast (cirrhose hépatosplénique).

Il s'agit donc d'un risque bien particulier, doublement radiologique puisque le thorothrast est à la fois un opacifiant et un agent radio-actif.

D - LES TUMEURS OSSEUSES.

Les tumeurs osseuses malignes ont été constatées après intoxication professionnelle par le radium et après radiothérapie.

Aucune enquête n'a recherché spécialement les antécédents d'irradiation dans les cancers osseux et tenté d'évaluer l'éventuelle nocivité du radiodiagnostic. Il est vrai que les tumeurs malignes siègent surtout aux membres et que si de nombreuses séances de radioscopie étaient retrouvées dans les antécédents d'un ostéosarcome, on retiendrait plus volontiers la fracture réduite sous écran, compliquée ou non d'ostéite, que l'irradiation.

1) - Tumeurs dues à l'absorption de radium.

Dans le New Jersey se trouvait en 1924 une fabrique utilisant la peinture lumineuse à base de sulfure de zinc et de radium. Au bout de quelques années de travail, certaines ouvrières se sentaient très fatiguées, perdaient leurs dents et s'anémiaient. L'enquête a montré qu'elles avaient l'habitude d'appointir le pinceau dont elles se servaient entre leurs lèvres et d'absorber ainsi de petites quantités de radium. Plusieurs années plus tard apparurent alors des ostéosarcomes du maxillaire : ces tumeurs étaient fortement radio-actives et contenaient du radon. La quantité de radium retenu dans l'organisme était de 10 à 180 microgrammes, alors que chez les ouvrières qui survécurent, elle était de 2 à 20 microgrammes.

On a ainsi observé 13 tumeurs chez 28 peintres en cadran et une cinquantaine chez des malades ayant reçu du radium dans un but thérapeutique.

En moyenne, le délai de latence est de 25 ans.

La concentration du radium dans l'os est inégale, certaines régions en contenant une très forte proportion : au niveau de la tumeur la radio-activité peut dépasser 1 rad par jour.

2) - Tumeurs secondaires à la radiothérapie externe.

Si l'ostéolyse et les fractures sont fréquentes dans les suites d'irradiation du cancer du sein ou du col utérin, si l'ostéonécrose du maxillaire complique certains traitements, l'apparition de tumeurs osseuses longtemps après la radiothérapie est rare.

COHEN et d'ANGIO ont retrouvé 26 cas survenus après radiothérapie dans l'enfance :

- 17 cas après radiothérapie d'un os sain, irradiation d'une tuberculose du genou ou de tumeur des tissus voisins,
- 9 cas après irradiation d'os malades : kyste osseux, granulone éosinophyle.

Le plus souvent la tumeur est un ostéosarcome, rarement un chondrosarcome, un sarcone à cellules géantes ou un fibrosarcone.

La période de latence est de 3 à 20 ans.

JONES, sur 38 cas, a trouvé une même durée, de 3 à 22 ans avec une moyenne de 8,6 ans.

Il semble que la dose à l'os ait toujours été supérieure à 3.000 rads.

E - LES AUTRES CANCERS EN RELATION AVEC LES RADIATIONS.

Quelques cancers ont été publiés dans les antécédents desquels se retrouvait une exposition aux radiations.

1) - Cancer du poumon.

Le cancer professionnel des mineurs qui travaillaient au début du siècle dans les mines de Joachimsthal en Tchécoslovaquie mouraient après une vingtaine d'années de travail une fois sur deux de cancer du poumon. Le minerai radio-actif était absorbé et le radon inhalé pendant longtemps à de fortes doses. Avec les mesures de protection actuelles, de tels cas ne se reproduisent plus.

Il est cependant prouvé que l'irradiation chronique de la muqueuse bronchique peut être cancérigène.

Par contre, on n'a guère signalé de cancers secondaires à la radiothérapie.

Si de tels cancers pouvaient exister, il est probable qu'ils seraient perdus dans les signes radiologiques du poumon radiothérapique ou d'une métastase du cancer primitif.

Il est possible que la tuberculose qui, pour certains, prédispose au cancer bronchique (SCHWARZ) le fasse par l'intermédiaire des examens radiologiques répétés.

2) - Tumeurs pelviennes.

Un grand nombre de métrorragies, d'endométrites, de fibromes utérins et de stérilités ont été traités par radiumthérapie utérine ou radiothérapie pelvienne. Plusieurs auteurs (HUNTER, PALMER et SPRATT, STANDER, RUBIN) ont revu des séries de malades atteignant le millier, avec un recul de 5 à 33 ans.

Quelques cancers génitaux (col, corps, ovaire, vagin) ou extra-génitaux (vessie, solon, rectum, anus) ont été découverts et leur taux moyen qui varie de 1 à 3 % selon les séries, est légèrement supérieur à ce qui aurait dû se voir spontanément. Il est possible que les radiations aient induit des néoplasies, mais les raisons qui

ont motivé le traitement semblent avoir fait par elles seules le lit du cancer (fibrome, hyperplasie utérine, hyperfolliculinie).

L'irradiation lors de l'hystérosalpingographie, même si celle-ci se prolonge sous radioscopie, n'a jamais été suspectée d'avoir induit un cancer. Ses conséquences génétiques en tout cas l'emportent de loin sur son éventuel effet somatique.

3) - Autres tumeurs.

On a vu quelques cancers du larynx à distance de radiothérapie cervicale, surtout pour papillomatose laryngée, des cancers de la peau après radiodermite provoquée par des séances de radioscopie faite à trop fort débit de dose il y a des décennies (MITCHELL, COLIEZ). Plus souvent il s'agit de radiodermite après radiothérapie ou chez des radiologistes. En 20 ans, à la Mayo Clinic, LEDDY avait, en 1941, signalé 135 cas de radiodermite, 8 seulement chez des radiologistes, les autres chez des médecins non spécialistes dont 91 après réductions de fractures ; 39 ont dégénéré en épithéliomas spino-cellulaires. Pour DUPERRAT, la fréquence de dégénérescence est de 10 à 25 %.

F - L'EXTRAPOLATION AUX FAIBLES DOSES.

Tous ces radio-cancers sont survenus après des irradiations importantes et le plus souvent chroniques.

Le problème est de savoir comme pour les leucémies, s'il existe ou non un seuil au-dessous duquel aucun risque cancérigène existe.

L'expérimentation animale trouve dans certains cas une relation semi-logaruthmique entre la dose et la fréquence du cancer :

la pente de la droite varie selon l'état de l'hôte. Rien chez l'homme ne permet de tracer avec certitude la courbe de régression et de dire si elle est extrapolable aux faibles doses.

Des points restent acquis :

1 - Toutes les formes de radiations peuvent donner des cancers et pour les rayons mous de radiodiagnostic, il leur suffit de pénétrer au niveau de l'organe sensible en assez forte quantité pour produire un effet.

2 - Tous les types histologiques de tumeurs peuvent se voir.

3 - La probabilité d'apparition d'une tumeur dépend en partie de l'état de réceptivité de l'animal, mais l'ordre de grandeur (10^3 rads) de la dose nécessaire, est la même dans toutes les espèces, y compris l'homme.

4 - Dans certains cas, le cancer peut apparaître à distance de la zône irradiée, traduisant une carcinogenèse indirecte d'origine probablement hormonale, mais rien de semblable n'a été prouvé chez l'homme.

Le mécanisme de la carcinogenèse par les radiations n'est pas élucidé. On tend à considérer que le cancer n'apparaît qu'après plusieurs changements intra-cellulaires successifs induits par les radiations, telles que les mutations ou les ruptures chromosomiques importantes, plutôt que les simples altérations moléculaires. Il est possible aussi que les radiations induisent l'activation de virus intra-cellulaires.

L'existence de cancers après examens radiologiques reste donc, comme pour les leucoses, à démontrer.

CHAPITRE VI - L'IRRADIATION DE L'ORGANISME : AUTRES EFFETS SOMATIQUES.

S'il est relativement facile d'étudier les conséquences leukémogènes des radiations parce que toutes les leucémies meurent et le font le plus souvent dans des services spécialisés, il est plus difficile de retrouver les tumeurs malignes et, a fortiori, bénignes, soignées dans un grand nombre de services de chirurgie et examinées dans de nombreux laboratoires d'anatomie pathologique : les enquêtes objectives sont alors rendues difficiles et il faut, pour voir les conséquences lointaines de l'irradiation, retrouver les malades, c'est-à-dire s'exposer à en perdre un fort pourcentage de vue.

On conçoit que dès lors les conséquences bénignes et lointaines de l'irradiation soient passées inaperçues.

Certes, les radiothérapeutes connaissent bien les complications précoces de leur traitement : myélite et néphrite post-radiothérapiques, poumon radiothérapique, radiodermites sont bien décrites et l'on s'efforce, par une bonne technique, de diminuer l'irradiation de ces organes sensibles.

Les conséquences à terme de l'irradiation sont aussi bien étudiées et un certain nombre de malades présenteront des cancers guéris mais au prix de séquelles parfois importantes :

- atrophie cutanée et télangiectasie,
- sclérose musculaire,
- ostéoporose et fractures,
- troubles du développement musculaire et osseux chez l'enfant.

Ces complications et ces séquelles représentent un risque radiothérapique parfois inévitable, mais justifié par la présence du cancer que l'on traite.

Ce n'est qu'en cas d'irradiation de lésions bénignes que l'appréciation du risque mériterait d'être tentée autrement.

On peut alors se demander si de faibles doses de radiations ne sont pas capables d'entraîner des troubles somatiques suffisamment importants et fréquents pour être considérés comme un risque, et si l'irradiation à faibles doses ne peut pas à distance entraîner l'apparition de maladies jusqu'à présent inexpliquées.

Le travail de recherche serait ainsi considérable : il consisterait pour toute affection (que ce soit le diabète ou l'infarctus du myocarde) à retrouver dans les antécédents l'exposition aux radiations. Si ils sont retrouvés avec une plus grande fréquence que dans une population témoin, on est tenté d'établir une relation de cause à effet entre l'irradiation et la maladie en question. On s'expose alors à une critique simple : la raison qui a motivé les examens radiologiques antérieurs n'est-elle pas en relation avec l'affection actuelle (qu'elle en soit la cause ou la première manifestation).

L'enquête épidémiologique est donc méthodologiquement difficile, sinon impossible.

Cependant, l'expérimentation animale a attiré l'attention sur trois lésions somatiques consécutives aux radiations :

1 - les cataractes,

2 - les malformations des embryons irradiés,

3 - le raccourcissement de la longévité.

De tels troubles ont aussi été constatés chez l'homme, mais leur fréquence et même leur réalité font encore l'objet de discussion.

A - LESIONS OCULAIRES ET CATARACTES.

L'oeil est un organe sensible aux radiations du fait de son anatomie :

- la conjonctive n'est pas protégée par une couche de kératine et, si le sujet ne ferme pas les paupièces au passage d'un rayonnement non filtré, la dose absorbée par cet épithéliun est importante.
- Le cristallin n'est pas vascularisé et il n'a pas de système d'échange de cellules avec le reste de l'organisme : il ne peut se restaurer que par lui-même.

Cependant, cet organe est peu souvent examiné radiologiquement : dans la plupart des radiographies du crâne, l'oeil n'est traversé que par le rayon émergent et les examens que l'on pourrait suivre en radioscopie, tel le remplissage d'un sinus par un produit de contraste, sont exceptionnels.

En radiothérapie néanmoins, l'oeil peut recevoir des doses non négligeables, lors de l'irradiation de tumeurs des sinus ou de l'hypophyse par un rayonnement pénétrant, ou du traitement d'angiomes des paupières par la radiothérapie de contact.

Ceci explique que les lésions de l'oeil dues aux radiations aient surtout été étudiées en dehors du milieu hospitalier.

L'oeil est exposé à des kératoconjonctivites érythémateuses, mais les ulcérations de la cornée ne se voient qu'après des doses de 2.000 à 3.000 r.

Surtout les cataractes dues aux radiations sont bien particulières. Elles se voient dans deux circonstances :

a) - Irradiation professionnelle.

Les premiers cas en ont été signalés chez les premiers constructeurs d'appareils à rayons X. D'autres cas ont été signalés chez les physiciens travaillant au cyclotron et aux piles atomiques.

Sur 27 sujets exposés, DOLLFUS (1959) a décelé 4 cas.

ABELSON et KRUGER (1948) en avaient trouvé dix chez des travailleurs atomiques, tous âgés au moins de trente ans.

b) - Chez les bombardés atomiques.

COGNAN, en 1949, examine un certain nombre de survivants d'Hiroshima. Sur 469 situés à moins de 1.000 mètres de l'explosion, 85 opacités cristalliniennes ont été trouvées. A Nagasaki, 26 sur 444.

- Caractères particuliers de ces cataractes.

- Presque toujours il s'agit de sujets jeunes, ce qui élimine la possibilité d'opacités séniles des cristallins,
- la plupart sont des opacités très légères, sous-capsulaires postérieures, sensiblement synétriques, pouvant être confondues avec des opacités congénitales,
- elles apparaissent entre six mois et six ans après l'irradiation,
- une fois constituées, elles sont stables ou progressent lentement.

Elles ne semblent pas dues à des lésions vasculaires du corps ciliaire, mais à l'action directe du rayonnement sur la zône germinative avec arrêt des mitoses, puis altération de la fibre cristallinienne.

Il semble y avoir une relation entre la dose et la fréquence de leur apparition, et surtout un seuil au-dessus duquel les

lésions cellulaires produites ne déterminent pas de cataracte : pour certains, il est à 600 rads, pour MERRIAN la plus petite dose ayant donné des opacités est 200 rads en une seule fois.

Rappelons que l'efficacité biologique relative des neutrons pour le cristallin est de 10 et que 20 rads de neutrons pourraient donc donner une cataracte.

Les doses au cristallin mesurées par FOCHT lors du radiodiagnostic crânien restent toujours inférieures au roentgen par cliché : seule la série de clichés de face lors d'une artériographie carotidienne peut atteindre 5 r à l'oeil si le rayonnement ne traverse pas de filtration supplémentaire.

B - L'IRRADIATION DE L'EMBRYON.

Les examens radiologiques pratiqués chez la femme enceinte sont de deux ordres :

1 - radioscopie ou graphie pulmonaire et l'irradiation du foetus provient du seul rayonnement diffusé lorsque la collimation est bonne.

2 - radiographie directe de l'abdomen : urographie ou pelvimétrie et l'embryon est en totalité dans le champ irradié.

Un cas particulier : celui de l'irradiation d'un embryon très jeune, alors que la grossesse est méconnue (cas des hystérographies pour stérilité ou grossesse angulaire, et des lavements barytés). Les difficultés de retrouver ces cas expliquent l'absence d'enquête statistique.

L'irradiation de l'embryon et du foetus risque en principe d'entraîner des désordres importants parce que, constitué de cellules jeunes et peu différenciées, il est plus sensible.

Le risque de leucoses ou de tumeurs malignes après irradiation à faibles doses est semble-t-il négligeable.

Par contre, le risque de troubles du développement est diversement apprécié. Nos connaissances sur la question proviennent :

- de l'expérimentation sur les mammifères,
- des conséquences de la radiothérapie volontaire ou non sur l'embryon ou le foetus,
- d'Hiroshima.

1) - Chez l'animal - L'irradiation de l'embryon de souris ou de rat à différents stades de son développement et à des doses variables montre que :

- la fréquence des malformations augmente avec la dose,
- pour une malformation donnée, la sensibilité est maximum lorsque l'irradiation a lieu au moment du développement embryologique correspondant,
- la production d'anomalies majeures portant principalement sur le système nerveux (anencéphalie, exencéphalie, hydrocéphalie) est maximum au moment de la période d'organogenèse principale .

Transposées au développement de l'homme, ces constatations chez l'animal amènent à considérer que la période de sensibilité maximum va de la 2ème à la 6ème semaine de la vie embryonnaire.

2) - Les "enfants des rayons".

a) - Un certain nombre de femmes ont été traitées pour cancer du col utérin survenu pendant la grossesse et il n'est pas possible de protéger le foetus.

Parfois l'enfant est né normal, sans aucune anomalie, à la naissance, ni troubles du développement pendant les premières années, mais on ne connaît pas la fréquence d'apparition tardive de cancers et les conséquences génétiques.

b) - Le plus souvent, on assiste à un avortement et, vers les années 20, la radiothérapie a été proposée comme abortif mais abandonnée parce que inconstante dans ses effets.

c) - De nombreuses malformations ont été signalées chez les enfants nés à terme. Elles portent sur :

- l'encéphale : anencéphalie, microcéphalie avec idiotie, hydrocéphalie,
- l'oeil : colobome, microphtaline,
- le squelette : spina bifida, malformations des membres,
- l'appareil génito-urinaire.

La léthalité néonatale survient une fois sur trois. La microcéphalie et les troubles oculaires une fois sur deux. Le mongolisme a été observé.

Ces anomalies sont d'autant plus fréquentes que l'irradiation est plus précoce : entre 50 et 100 % avant 2 mois, moins de 20 % après le 6ème mois.

3) - Les irradiés japonais.

Peu de femmes étaient enceintes lors de l'explosion.

Sur 11 enfants irradiés in utero à moins de 1.200 mètres à Hiroshima, 7 ont présenté une microcéphalie avec idiotie. Sur les 30 femmes enceintes à Nagasaki, on a constaté un quart d'avortements, un quart de morts-nés et un quart de retard mental.

Neuf ans après, on constate que l'arriération mentale de ces enfants est d'autant plus grande que l'irradiation était plus forte.

Il est donc acquis que l'irradiation à forte dose crée de graves troubles du développement. Il est plus prudent de se comporter comme si les doses même faibles pouvaient avoir les mêmes conséquences, en particulier lors des premières semaines de la grossesse. Mais inversement, la tolérance de l'embryon est suffisamment grande pour que l'on ne se prive pas des avantages d'un examen radiologique bien conduit lorsqu'il est nécessaire. Cependant, la récente enquête de LEJEUNE chez les enfants dont la mère avait subi une pelvimétrie a montré une augmentation statistiquement significative des hétérochromies iriennes, mutation somatique acquise pendant leur développement embryologique.

C - LE RACCOURCISSEMENT DE LA LONGEVITE.

Les lésions biochimiques créées par l'irradiation sont multiples. Toutes n'ont pas d'expression microscopique directe ni de conséquence clinique visible sur l'embryogenèse ou le développement des tumeurs. On connaît mal encore leur symptomatologie.

Néanmoins, on a voulu par extrapolation à l'homme des données expérimentales, voir dans le raccourcissement de la longévité un moyen global et mesurable d'apprécier les conséquences somatiques de l'irradiation.

1) - Les données expérimentales.

LORENZ a constaté que l'irradiation chronique de la souris à des doses quotidiennes de 1,1 à 8,8 rads avait pour effet de diminuer sa vie moyenne d'une manière proportionnelle à la dose absorbée.

Mais les souris irradiées au débit le plus fort recevaient quand même une dose totale de 4.300 rads, ce qui est considérable : leur existence était réduite de 30 % par rapport aux témoins. Les radiomimétiques auraient un effet analogue (ALEXANDER).

FAILLA a extrapolé ces données à l'homme avec d'infinies précautions oratoires qui n'ont pas été respectées toujours dans l'utilisation faite de ses conclusions.

- Le vieillissement spontané de la souris est le même que celui que présenterait une souris fictive, immortelle, soumise à une irradiation de 12,8 rads par jour ;
- l'homme vieillit spontanément vingt mois moins vite que les souris ;
- tout se passe donc comme si un être humain fictif était soumis à une irradiation fictive de fond de 0,64 rad par jour.

Dans ces conditions de raisonnement, le raccourcissement de la vie chez l'homme est d'un jour par rad accumulé reçu par l'ensemble de l'organisme, à raison d'un débit de dose inférieur à 0,5 rad par jour.

Si l'on admet une irradiation professionnelle de 5 r par an entre l'âge de 18 et de 60 ans, la diminution de l'espérance de vie qui en résulterait serait de 210 jours, soit sept mois. Et les radiologues qui, au début du siècle, ont reçu 500 r pendant leur existence, devraient mourir 1,5 année plus tôt en moyenne qu'ils ne l'auraient fait spontanément.

2) - <u>La durée de vie des radiologues</u>.

Trois enquêtes principales ont été menées aux Etats-Unis et en Angleterre.

a) - <u>L'enquête de WARREN</u> (1956) trouve que les radiologues meurent en moyenne à 60,5 ans et les autres médecins à 65,7 ans. La

dose reçue par ces radiologues de l'époque héroïque est de l'ordre de 10^3 r et le vieillissement consécutif (on associe) est de cinq ans. Ainsi semblent confirmées les données de l'expérimentation animale.

b) - COURT BROWN et DOLL (1958) ne trouvent chez les radiologues anglais aucune surmortalité.

Ils étudient 1.277 radiologues de sexe masculin ayant exercé entre 1897 et 1957 et distinguent deux périodes, avant et après 1921, date à laquelle les premières mesures de protection ont été recommandées.

Par comparaison, non pas avec le reste du corps médical, mais avec la population de même classe d'âge et de même rang social, ils ne retrouvent aucune surmortalité, au contraire le taux de mortalité est un peu plus faible que dans la population témoin, ce qui n'amène évidemment pas COURT BROWN et DOLL à conclure que les radiations élèvent l'espérance de vie. Le groupe des radiologues anglais ne peut être démographiquement comparé à celui des américains.

Les radiologues, dans l'ensemble, commencent à exercer plus tard que les autres médecins et comme la discipline est relativement nouvelle, les médecins âgés y sont sous-représentés.

c) - SELTSER et SARTWELL reprennent la question aux Etats-Unis, en comparant les 869 radiologues masculins élus membres de la Roentgen Ray Society entre 1904 et 1954, aux 1.170 membres de American Association of Pathologists and Bacteriologists, catégories de spécialistes qui risquaient le moins de manipuler des appareils de radiologie.

La méthode d'analyse démographique employée est celle des cohortes, c'est-à-dire des groupes de médecins élus en une décennie (1905-1914, etc...) à une de ces Sociétés Savantes.

Il existe entre ces deux groupes, toutes cohortes réunies, des différences entre l'âge moyen à l'élection, la durée de vie, l'âge moyen à la mort, mais ces différences sont très faibles et n'ont pas de signification statistique. Le taux de mortalité au-delà de 50 ans est cependant plus élevé chez les radiologistes, pour la première cohorte. Dans les cohortes suivantes, il n'y a pas de différence.

En prenant comme population témoin l'ensemble de la population masculine blanche des Etats-Unis, ou l'ensemble du corps médical masculin, on ne trouve pas de différence dans le sens escompté ; au contraire, les radiologues ont les mêmes taux de mortalité que leurs confrères, et une mortalité inférieure à la population américaine.

Parmi les causes de décès, encore qu'il y ait plus de 20 % de causes non mentionnées, on trouve 11 cas de leucémie chez les radiologues, à mettre en parallèle avec 7 cas de tuberculose chez les bactériologistes.

Cette étude statistique fort complète et menée avec toute la rigueur possible n'a pas permis de retrouver la surmortalité par cancer chez les radiologistes du début du siècle que COURT BROWN et DOLL auraient constatée en Angleterre.

3) - Les difficultés de méthode.

Ces enquêtes sur la mortalité des radiologues présentent réunies toutes les difficultés méthodologiques de ce genre d'investigations.

a) - Il est difficile d'évaluer le risque auquel a été soumis la population. La dosimétrie rétrospective sur des appareils anciens montre bien que les débits de doses étaient élevés, la

protection inexistante, mais on ignore tout de l'activité réelle des radiologues. D'après BRAESTRUP, ils ont été soumis à une exposition de 25 à 75 fois supérieure à celle d'aujourd'hui.

b) - La population témoin est sujette à des critiques :

- Elle peut avoir aussi manipulé les rayons X et dans des conditions encore plus mauvaises. Entre 1920 et 1940 se sont développés les appareils de scopie aux mains des praticiens non radiologues. Les chirurgiens ont présenté la plus forte proportion des radiodermites observées.
- Il est possible que l'orientation vers la radiologie ait séduit un certain nombre de médecins à la santé antérieurement compromise.
- L'influence de la médecine qui a, en cinquante ans, presque doublé l'espérance de vie dans les pays économiquement développés, a affecté inégalement les classes sociales et peut-être à l'intérieur du corps médical, les différentes spécialités.

c) - La recherche des radiologues dans les archives professionnelles est d'une difficulté variable selon les pays et la qualité des membres d'une société ne signifie pas que l'on est très exposé aux radiations.

Désireux de mesurer les difficultés qu'un tel travail présenterait en France, nous avons estimé le corps des radiologues français en 1961 selon trois sources :

- qualifiés par le Conseil de l'Ordre : 1.343,
- membres de la Société de Radiologie : 1.037,
- possesseurs d'un appareillage de radiographie en pratique privée : 988.

Seuls 421 radiologues se retrouvent dans les trois listes nominatives. Certains n'appartiennent qu'à une seule liste :

- 376 qualifiés par l'Ordre,
- 264 membres de la Société de Radiologie,
- 245 possesseurs d'un appareillage

ne sont pas retrouvés dans au moins une des autres.

Selon la source choisie, un biais systématique s'introduit que l'on ne peut pas apprécier.

Le raccourcissement de la longévité sous l'influence des radiations n'est donc pas absolument prouvé expérimentalement et certains travaux trouvent, au contraire, une augmentation de l'espérance de vie. De toutes façons, l'extrapolation à l'homme est des plus hasardeuse.

La prédisposition aux affections diverses semble plus grande pour SAENGER chez les enfants irradiés pour hypertrophie thymique : les affections respiratoires et circulatoires sont trois à cinq fois plus fréquentes que chez les témoins. On ne peut en conclure évidemment aucune relation de causalité : tous les biais (statistique, médical, socio-économique) peuvent s'introduire dans ces comparaisons.

Le risque somatique dû aux irradiations régionales à faibles doses n'est pas démontré avec certitude : le fait qu'il soit soupçonné impose cependant la prudence et recommande de réduire le plus possible l'irradiation de l'organisme.

Le risque génétique a été étudié selon les mêmes méthodes d'approche clinique et statistique, mais son importance exacte reste encore à préciser.

CHAPITRE VII - LE RISQUE GENETIQUE.

La grande sensibilité des gonades a été très vite vue par les premiers radiothérapeutes et si la radiothérapie pelvienne pour fibromes a perdu maintenant de ses indications, la castration par les radiations est une méthode couramment pratiquée comme traitement complémentaire de certains cancers.

Il faut des doses de 300 à 500 rads, pour obtenir une castration.

HICKEY et HALL s'étant demandés en 1941 si l'exposition professionnelle des radiologues n'était pas susceptible de produire une castration : 37 % des mariages des 377 radiologues intéressés se sont révélés stériles, ce qui ne suffit pas à prouver que l'irradiation chronique amène une diminution de la fertilité.

Par contre, plusieurs enquêtes récentes et importantes se sont efforcées d'évaluer les conséquences génétiques de l'irradiation.

A - LE PROBLEME DES RADIO-MUTATIONS.

On désigne sous le terme de "mutation" un changement brusque, d'emblée transmissible et définitivement stable, d'un caractère héréditaire. Les mutations sont dites naturelles lorsqu'elles se produisent dans le cours normal de la vie ou, pour être plus précis, lorsque leur apparition n'a été influencée en aucune manière par une intervention humaine. Elles ne sont dites spontanées que dans l'état actuel de nos connaissances.

Le matériel héréditaire étant situé sur les chromosomes, on peut distinguer deux types de mutations :

a) - les mutations chromosomiques qui affectent un fragment suffisamment grand des chromosomes pour être décelables au microscope.

Longtemps méconnues chez l'homme, le premier exemple n'en a été décrit qu'en 1959 par LEJEUNE, GAUTIER et TURPIN dans le mongolisme (trisomie du chromosome 21). Depuis, les mêmes auteurs ont observé une translocation dans une malformation particulière, la polydyspondylie.

On connaît aussi les anomalies portant sur les chromosones sexuels (maladie de Klinefelter caractérisée par un chronosone supplémentaire avec la composition génétique XXY et syndrome de Turner caractérisé par une absence avec la composition chronosomique XO).

Pour le moment, malgré l'essor de la culture de tissus humains, aucune autre anomalie chromosomique visible au microscope n'a été découverte.

b) - Les mutations génétiques ou ponctuelles siègent en un point suffisamment restreint du chromosome pour qu'elles soient invisibles.

Elles représentent l'immense majorité des mutations et de loin les plus intéressantes, car les seules susceptibles d'être transmises aux générations suivantes, les mutations chromosomiques entraînent de tels troubles qu'elles ne se transmettent guère à la descendance.

Les mutations présentent trois caractères essentiels (LEJEUNE) :

1 - elles sont fortuites et nullement conditionnées par l'état de l'organisme. Dans le cas des radio-mutations, on conçoit très bien qu'un photon provoque des lésions irréversibles de la molécule de D.N.A. en n'importe lequel de ses éléments, peut-être plus électivement, si l'on admet un mécanisme direct au niveau des atomes de phosphore dont la densité électronique est plus grande que celle des autres atomes.

2 - Elles sont stables une fois constituées. Le changement dans le message génique se reproduit semblable à lui-même, à moins d'une mutation reverse statistiquement peu probable.

3 - Elles sont nocives. Il y a peu de chances qu'elles soient en effet, d'emblée, favorables à l'individu. Au cours de l'évolution, toutes les mutations spontanées ont été essayées et sélectionnées, l'espèce ne gardant que les meilleures. Mais les mutations favorables, et elles existent, ne sont pas faciles à repérer dans l'espèce humaine ; les mutations défavorables, par contre, sont la plupart du temps signalées. Elles doivent cependant être plus fréquentes que les mutations favorables et l'on peut admettre raisonnablement que les risques sont plus grands de voir les malformations que des améliorations de l'espèce.

La fréquence des mutations naturelles a été estimée dans le cas des gènes dominants (tarés issus de parents normaux). Quelle que soit l'affection (achondroplasie, microphtalmie, sclérose tubéreuse de Bourneville, rétinoblastome), le taux de mutation est à peu près le même, de 2.10^{-5} à 10^{-6}.

Dans le cas des gènes récessifs (hétérozygotes apparemment sains engendrant un homozygote taré), le calcul nécessite des corrections, mais on retrouve le même taux de mutation spontanée, de l'ordre de 10^{-5} par génération et par gène, puis les diverses affections étudiées : idiotie amaurotique, albinisme, cécité totale aux couleurs, phénylcétonurie).

B - LES ENQUETES MENEES CHEZ L'HOMME.

Comme pour les mutations somatiques étudiées précédemment, l'abord du problème chez l'homme s'est limité aux mêmes difficultés : trouver une population dont les gonades avaient été irradiées à des doses à peu près connues et retrouver sa descendance. Les cas d'irradiation des gonades ne sont pas très fréquents, surtout en période de fertilité potentielle.

Trois catégories ont cependant été étudiées :

1) - les bombardés japonais (NEEL, SCHULL) des deux sexes,

2) - les radiologistes (MACHT et LAWRENCE, CROW) de sexe masculin ainsi que leurs manipulateurs (TANARA),

3) - les malades ayant reçu de la radiothérapie pelvienne, que ce soit des femmes (KAPLAN) ou des personnes des deux sexes (TURPIN et LEJEUNE).

Aucune enquête n'a pu être menée chez des malades ayant été exposés au rayonnement dans un but diagnostic lors d'examens du bassin (urographie, uréthrographie, colon, hanche), car il faudrait en suivre un nombre considérable pour en tirer des conclusions statistiquement significatives.

Ces enquêtes ont recherché, dans la descendance des femmes irradiées, cinq éléments facilement observables : le sexe, l'existence de malformations, la mortalité, le poids de naissance et les mesures anthropométriques. La fréquence des avortements et la stérilité sont en effet impossibles à observer avec certitude.

Aucune différence n'a été trouvée entre la mortalité, le poids moyen à la naissance et les mensurations de ces enfants par rapport aux témoins. Par contre, la fréquence des malformations et la sex-ration (proportion des mâles) sont apparues, dans l'ensemble de ces enquêtes, être différentes des populations témoins.

Si la sex-ratio est facile à calculer, le taux de malformations est plus délicat à estimer ; on ne constate que les malformations dominantes et on ne les apprécie qu'à la naissance. Il en résulte une estimation assez variable selon qu'il y a eu ou non autopsie et selon que l'enfant a été ou non suivi jusqu'à l'âge de un an, âge auquel on admet que toutes les malformations se sont extériorisées. Les mutations récessives ne sont pas décelées, mais comme les croisements ultérieurs de l'espèce humaine ne peuvent pas être dirigés, l'étude de la première génération apporte plus d'informations en elle-même que celle des générations suivantes.

1) - Les enseignements des explosions atoniques.

Entre 1948 et 1954, SCHULL et NEEL étudient les 65.000 naissances survenues à Hiroshima et Nagasaki en corrélation avec l'âge de la mère, le nombre d'enfants, l'état de santé pendant la grossesse, la condition socio-économique des parents, aussi bien que l'importance de l'irradiation. Ils distinguent quatre classes selon la dose (pas d'irradiation, exposition légère de 5 à 10 rads, exposition moyenne à cause de la distance ou d'une protection, de 50 à 150 rads, exposition forte avec mal des rayons 200 à 500 rads). Dans chacune de ces catégories, il n'y a pas de différence en ce qui concerne l'état de santé de la mère et la condition socio-économique.

La sex-ratio montre des variations légères mais significatives et qui s'accordent avec la théorie génétique :

- si la mère a, seule, été exposée, la sex-ratio augmente avec l'irradiation (0,515 pour une irradiation légère, 0,529 pour une irradiation forte) traduisant la fragilité plus grande relativement des chronosomes XX de la mère en présence des XY intacts provenant du père : la masculinité des enfants est plus forte.
- Si le père a seul été irradié, on constate l'inverse (0,523 pour une légère irradiation et 0,504 si elle est forte) traduisant une sensibilité plus grande du chromosome X paternel.

Le taux de malformations à la naissance est à peu près constant et n'augmente pas significativement avec l'irradiation (de 1,52 pour 1.000 à 0,98). Mais les malformations congénitales du coeur ont été éliminées de l'étude car impossibles à diagnostiquer sûrement alors.

Les autopsies de 884 foetus et nouveaux-nés faites à Nagasaki entre 1949 et 1953 par HAYASHI (cité par de BELLEFEUILLE) ont montré une augmentation sensible du taux de malformations avec la dose reçue. Ces constatations ne concordent pas avec celles de

l'A.B.C.C. faites sur 363 autopsies à Nagasaki et 406 à Hiroshima qui ne montrent pas davantage de malformations.

La controverse entre auteurs américains et japonais ne pourra jamais être tranchée, car les irradiations n'ont pas été semblables dans les deux villes ; le nombre de fausses couches est très mal connu, le total des malformations notées à Hiroshima est très faible et 43 % seulement des malformations diagnostiquées à l'âge de neuf mois étaient visibles à la naissance.

Une étude de SCHULL et NEEL sur les mariages consanguins (5.163 grossesses entre 1948 et 1953) n'a pas pu mettre en évidence d'augmentation significative du taux des malformations majeures à la naissance ou de la mortalité périnatale.

2) - L'irradiation chronique professionnelle.

MACHT et LAWRENCE (1955) trouvent 5,99 pour 1.000 d'anomalies à la naissance chez les enfants des radiologues au lieu de 4,84 pour 1.000 chez les enfants des médecins non spécialistes. Mais cette différence a été très critiquée car les anomalies rencontrées sont avant tout des malformations cardiaques et la maladie hémolytique du nouveau-né. Or, les enfants des radiologues ont été plus souvent autopsiés que ceux des parents témoins et la fréquence de la maladie hémolytique croît avec l'âge des parents et les enfants nés avant la spécialisation du médecin en radiologie ont été éliminés de l'enquête.

Il n'y a pas d'augmentation dans la sex-ratio. TANAKA et OHKURA, par contre, en ont trouvé une chez les enfants des manipulateurs (0,552, au lieu de 0,523 chez les laborantines témoins et 0,512 dans la population japonaise).

3) - La radiothérapie pelvienne.

- I.-I. KAPLAN a retrouvé 644 femmes ayant reçu de la radiothérapie pelvienne entre 1925 et 1958 pour stérilité ou métrorragies.

351 de ces femmes sont devenues enceintes, totalisant 688 grossesses, 318 les ont menées à terme et 566 enfants sont nés. Parmi eux, trois anomalies ont été trouvées (doigts surnuméraires et suture précoce des fontanelles), ce qui est une proportion normale. Ces enfants ont eu à leur tour 45 enfants, tous normaux. La sex-ratio est diminuée d'une manière significative. Les doses reçues aux ovaires étaient d'environ 65 rads.

- TURPIN, LEJEUNE et RETHORE ont étudié 3.579 malades ayant reçu de la radiothérapie sur le petit bassin, à des doses de 5 à 20 rads au testicule et 200 à 400 rads à l'ovaire. Ils ont retrouvé 1.334 hommes et 284 femmes, dont 289 et 97 respectivement avaient eu ensuite des enfants. La sex-ratio est diminuée d'une manière significative, tant dans la descendance des mères que dans celle des pères.

C - LA DOSE DE DOUBLEMENT.

De ces études où la dose aux gonades était de l'ordre de 10^2 à 10^3 rads, il ressort que l'irradiation aboutit à une augmentation du nombre des mutations par rapport à celles que l'on était spontanément en droit d'attendre. SCHULL reprenant tous les paramètres calculés dans ces enquêtes sur la sex-ratio, trouve que 14 fois sur 18, ils s'accordent avec la théorie génétique pour reconnaître une action mutationnelle aux radiations.

1) - Les données expérimentales.

L'extrapolation à l'homme des données expérimentales demande une grande prudence encore que les constatations faites chez la souris soient biologiquement plus proches que celles faites sur les drosophiles. La loi fondamentale de la radiogénétique (MULLER) est que le nombre des mutations produites est linéairement proportionnel à la quantité de rayonnement absorbé par les cellules.

Cette relation linéaire entre la dose et la fréquence permet d'estimer, d'après la théorie de la cible, le volume sensible du gène et les résultats, sont en accord avec les données cytologiques. Mais comme pour les radioleucoses, il s'agit de savoir si les rayonnements conservent un pouvoir mutagène à faibles doses. MARCOVICH a montré en 1954 que l'énergie d'un seul photon était susceptible de provoquer l'induction du prophage de certaines bactéries, mais la relation linéaire n'a pas été vérifiée chez l'animal pour des doses inférieures à 25 r.

De nombreuses expériences ont montré que des petites doses répétées étaient génétiquement aussi actives qu'une irradiation brutale de courte durée et qu'il n'existe pas d'accoutumance aux radiations (chez plusieurs dizaines de générations de drosophiles).

Cependant, RUSSEL et KELLY, comparant l'irradiation aiguë avec un débit de 90 r/minutes et l'irradiation chronique (90 r/semaine) ont trouvé que, à dose totale égale, l'irradiation aiguë produisait quatre fois plus de mutations. La protraction de la dose, contrairement à ce qui était jusqu'alors admis, réduit l'effet mutagène des radiations. On admet que les mutations ne sont pas des évènements instantanés produits par un coup au but, mais consistent en des changements successifs susceptibles d'être entièrement réparés, du moins pendant un certain laps de temps. Il serait intéressant de se mettre dans des conditions expérimentales proches de celles du radiodiagnostic (urographie et examen du colon) en ce qui concerne le débit de dose.

Il semble que les deux types d'irradiations, aiguë et chronique, donnent toutes deux une relation linéaire entre la dose et la fréquence des mutations, mais la pente des droites de régression étant variable, il n'existe aucune raison de penser qu'il y ait un seuil d'intensité, comme un seuil de dose au-dessous duquel aucun effet génétique n'est produit.

2) - La dose doublante.

La manière la plus simple de mesurer l'efficacité mutationnelle des radiations est, comme pour les leucoses, de déterminer la dose qui double la fréquence des mutations spontanées.

Chez la souris, cette dose doublante varie de 7 à 80 rads, selon les expériences et les races avec, le plus souvent, une valeur moyenne de 30 à 40 rads.

Chez l'homme, elle a été évaluée à 30 rads, très vraisemblablement entre 30 et 80 rads. Cette valeur concorde avec celle que l'on trouve pour expliquer la diminution de la sex-ratio en fonction de l'âge de la mère sous la seule influence du vieillissement (et de l'irradiation naturelle).

Aucun examen radiologique ne délivre une telle dose aux gonades. Celle-ci ne serait atteinte que par la répétition des examens importants concernant le petit bassin et laissant les gonades sans protection dans le rayonnement direct ; or, il existe toute une catégorie d'enfants et d'adultes jeunes présentant des affections de longue durée de la hanche et de la vessie dont l'état nécessite de tels examens itératifs et qui ont une espérance de vie et de procréation ultérieure proche de la normale.

Pour les malades qui ne subiront qu'un seul examen affectant les gonades, la détérioration possible de leur capital génétique est très loin du doublement de fréquence des mutations, mais elle s'accumule et peut se retrouver dans les générations ultérieures affectant le patrimoine génétique de l'humanité dans sa totalité.

De plus, lors du premier examen radiologique, on ne peut pas préjuger de l'avenir et dire s'il y aura ou non des examens ultérieurs. La prudence s'impose donc et ce, d'autant plus qu'il existe des moyens efficaces de réduire l'irradiation des sujets examinés et tout spécialement celle de leurs gonades.

CHAPITRE VIII - LA DIMINUTION DU RISQUE DU AUX RADIATIONS

Le problème de la protection du radiologue, des médecins effectuant un examen radiologique dans leur spécialité et des manipulatrices étant supposé résolu par un appareillage de protection. et surtout de bonnes habitudes, ne se pose que celui de la protection des sujets examinés.

L'ambition d'un examen radiologique bien conduit doit être de recueillir le maximum d'information médicale pour le minimum d'action des radiations sur l'organisme. On peut agir de nombreuses manières pour augmenter ce rendement de l'examen.

On peut reconnaitre deux aspects à l'information fournie par une exploration aux rayons X.

a) - Un aspect physique - On peut exprimer la quantité d'information contenue dans un film, sur la plage d'un écran de radioscopie ou de télévision d'après le nombre de signaux élémentaires qu'elles peuvent contenir, leur contraste et le rapport entre la hauteur du signal et celle du bruit de fond. Dans des conditions expérimentales identiques (même qualité de rayonnement, même position, même objet), on peut établir un rapport entre l'irradiation nécessaire (exprimée en dose d'exposition, en dose intégrale absorbée, ou en dose en un point déterminé) et l'image obtenue avec différents systèmes de recueil.

Il est ainsi théoriquement possible de trouver le rayonnement pour lequel l'information est maximum, toutes doses égales par ailleurs, et de comparer entre eux les différents moyens de recueillir l'image.

b) - Un aspect médical - En fait, cette étude physique n'est possible que dans des conditions expérimentales privilégiées.

En pratique médicale, ces conditions idéales ne sont pas réalisées, car l'appareillage et le personnel doivent être à la disposition du malade à tout moment, sans possibilité de recherche fine de l'optimum de rendement. Néanmoins l'éventail des rendements est très largement ouvert, êut-être de I à I00 entre l'appareil le plus désuet mal utilisé et l'appareillage moderne bien manié.

Il s'agit donc de bien saisir l'ordre de grandeur des rendements et de rechercher de préférence les améliorations de la technique ou du comportement qui ont la plus grande efficacité sans s'attarder à des modifications de détail susceptibles d'alourdir le travail de routine.

L'amplificateur de brillance est, sous cet angle, la grande révolution technique des années récentes et, historiquement, on pourra sans doute distinguer la radiologie d'avant l'amplificateur et celle d'après, tant la mutation est nette.

Une multitude d'autres moyens sont cependant susceptibles de diminuer l'irradiation du malade sans nuire à la qualité de l'examen : en les conservant présents à l'esprit, en cherchant à les appliquer progressivement, on aboutit en pratique à une sérieuse économie de l'irradiation. Nous les passerons en série dans l'ordre suivant :

1) - les moyens de protéger les organes critiques : les caches,
2) - les procédés tendant à diminuer la dose d'exposition: filtres et haute tension,
3) - Les règles pour diminuer la dose intégrale,
4) - les systèmes de recueil de l'image et leurs perfectionnements.

A - LA PROTECTION DES ORGANES CRITIQUES.

I) La protection facile des testicules.

La contribution du rayonnement diffusé à leur irradiation est négligeable, surtout si le faisceau incident pénètre par le dos comme c'est le cas pour une radiographie pulmonaire. S'ils sont dans le rayonnement direct (mauvaise collimation d'un cliché du thorax et surtout si celui-ci est antérieur (urographie) la dose à leur niveau est élevée. Or, la projection radiologique des testicules ne cache pas de structures anatomiques intéressantes et il est possible de réaliser une protection par un corps absorbant directement à leur niveau.

On a mis au point (BRETLAND, HODGES) deux types de caches :

- la coquille faite d'une couche de 0,5 m/m de plomb enrobé de matière plastique, maintenant commercialisée selon différents

modèles. La protection qu'elle procure est totale. En pratique cependant, il faut s'astreindre à la faire mettre au patient et ceci risque de lui rappeler tout ce qu'il a lu sur la nocivité des radiations et à l'affoler inutilement. C'est pourquoi il est à craindre que cet appareil techniquement parfait ne puisse être employé en routine. On devrait pourtant l'exiger lors du lavement baryté du sujet jeune.

- la feuille de plomb assure par elle-même une protection très satisfaisante. Elle est facile à employer pour tous les examens faits en décubitus, surtout chez l'enfant. Il peut s'agir d'une feuille souple posée sur la peau ou d'un écran maintenu par une tige à une hauteur variable et centré en fonction du champ d'irradiation. Ainsi un cliché du bassin qui demande une dose d'exposition de 1,1 r au niveau des testicules, ne donne plus à leur niveau que 0,003 r avec une simple bande de caoutchouc plombé (et 0,001 avec une coquille fermée).

Ainsi le risque génétique, par ce moyen simple est diminué de 10^{3} ou 10^{-3} à 1.

2) Le cas difficile de la protection des ovaires.

La protection radiologique des ovaires, par contre, cache des structures anatomiques intéressantes, particulièrement ddns la cas de la plupart des examens du petit bassin. Une forte proportion de leur irradiation provient du rayonnement diffusé qu'il est impossible d'éliminer. Néanmoins, la radiographie des hanches, des ailes iliaques ou de la colonne lombaire ne nécessite pas, sur rous les clichés, de voir la projection radiologique des ovaires, notamment chez la fillette où l'un des examens itératifs les plus fréquents concerne la luxation de la hanche. Il est alors possible de mettre un simple cache triangulaire ou hexagonal d'une épaisseur de 2 m/m de plomb (ABRAM) sur la région sous-ombilicale. Il suffit de deux dimensions de cache pour couvrir tous les cas jusqu'à l'âge de 16 ans.

Cependant, étant donné la grande fréquence des urographies et lavements barytés chez la fillette et la femme en période d'activité génitale, le risque génétique n'est pas, pour la population féminine dans son ensemble, réduit dans de fortes proportions par l'emploi de ce cache.

3) - La protection du foetus.

Il n'y a qu'un seul moyen pour éviter l'irradiation de l'oeuf fécondé et du très jeune embryon: se refuser à toute exploration radiologique du bassin chez la femme susceptible d'être enceinte dans la seconde moitié de son cycle menstruel. Hors les cas d'urgence, il faut différer de quelques jours tous les examens importants du pelvis.

La protection du foetus est plus délicate.

1) - Le choix des incidences de la pelvimétrie.

En position de THOMS, le rayonnement direct traverse d'abord le foetus, des gonades vers la tête avant le détroit supérieur. Il est donc à proscride.

On discute sur l'utilité du cliché de face(BEWLEY-MAGNIN) qui semble pourtant indispensable pour apprécier les diamètres transverses.

Le cliché réduit au bassin, de face comme de profil, épargne, en présentation céphalique, une grande partie du foetus et ses gonades.

Le cliché du détroit inférieur n'irradie que la présentation et peut être pratiqué couramment.

2) - La protection du foetus par un cache.

Un cache de forme ovale, bien placé (KENDIG) protège mieux encore le foetus qu'une collimation étroite mais à bords droits. Il est difficile de bien le placer, mais l'ahbitude s'en acquiert vite dans les services spécialisés qui justement font le plus grand nombre de pelvimétries.

4 - La Glande thyroide et l'iode I32

De tous les examens diagnostics, l'étude de la fonction thyroïdienne par l'iode radio-actif est celui qui expose le plus à une irradiation proche du niveau où le risque carcino-génétique, bien que négligeable, semble prouvé, chez l'enfant. Le premier effort doit donc tendre à restreindre électivement la possible nocivité de cet examen.

L'iode I32 offre la possibilité (POCHIN, GOOLDEN, TUBIANA et VALLEE, PEREZ). Il délivre à la glande une dose totale d'énergie de 0,I5 rad par microcurie nigérée au lieu de 7 rads par l'iode I3I. On doit systématiquement, au moins chez

l'enfant, le substituer à l'iode I31.

Parallèlement, le remplacement des compteurs de Geiger par des compteurs à scintillation d'un rendement supérieur, fait que le risque auquel ont pu être soumis les enfants vers les années 50 était 10^2 supérieur à celui auquel on les expose maintenant.

5) - Autres organes.

Les autres organes ne peuvent bénéficier d'une protection élective.

Certes, la fermeture des paupières protège le cristallin des composantes les plus molles du rayonnement, mais il n'y a pas de risque de cataracte en radiodiagnostic.

La protection de la moëlle osseuse est impossible, sinon par les moyens techniques généraux envisagés plus loin.

Reste à soulever la possibilité d'employer les radioprotecteurs chimiques lorsque l'on sait que l'examen radiologique est important (nourrisson). De nombreuses substances (A E T, cystéamine) ont un effet radioprotecteur certain s'ils sont absorbés avant l'irradiation, même totale de l'animal. Rien n'empêche, dans l'absolu, d'envisager la prise de ces radioprotecteurs dans l'heure qui précède l'examen, la majorité des examens exposant à une forte irradiation se faisant après préméditation anesthésique. Il y a là une voie d'avenir à garder en réserve si le risque du radiodiagnostic se révélait être moins négligeable que l'on ne le croit jusqu'à présent.

B - LA REDUCTION DE LA DOSE D'EXPOSITION.

En obtenant la même information radiologique avec une dose d'exposition moindre, on diminue l'irradiation de la peau (et du testicule) située au point d'entrée des rayons. On peut obtenir cette diminution de deux manières :

a) - en diminuant la dose émergente nécessaire pour obtenir une image. Ce point sera envisagé plus loin.

b) - en augmentant le rapport dose émergente/dose incidente pour une même dose à la sortie.

Cette augmentation du taux de transmission est réalisable de deux façons :

- élévation de la tension nominale,
-filtration élective des composantes molles.

1) - Les hauts kilovoltages. Ils ont été redécouverts il y a quelques années par les constructeurs, avant tout pour permettre la prise de clichés multiples en un laps de temps très court. Puis l'intérêt pour les radiographies simples s'est montré grand, tant pour la qualité des clichés en radiologie pulmonaire (DESGREZ MICHEL) et digestive, là où le contraste est l'air ou la baryte. L'intérêt en est moins grand pour l'os et l'iode (hors les cas de sériographies). Si bien que le radiodiagnostic à 150 kV est employé systématiquement par l'école suédoise : il demande des films et des écrans renforçateurs spéciaux. En passant de 80 kV à 160 kV, le taux de transmission passe de 3,7% à 7,4% pour un fantôme de 16 cm d'épaisseur et un champ de 400 cm2 (MATTSON).

Pour produire un même noircissement avec le fantôme précédent, il faut pour un film sans écran 20 mr à 80 kV et 35 mr à 160 kV, mais avec un écran au tungstate de calcium, il suffit de 4 mr à 80 kV et 2,4 mr à 160 kV au film.

2) - La filtration du rayonnement incident.

Elle revient à durcir le rayonnement par une élimination préférentielle des composantes molles, si bien que la transmission s'en trouve améliorée. L'emploi de filtres de 2 à 3 m/m d'Al demande un débit électronique accru dans le tube, c'est-à-dire une installation plus puissante. Pour obtenir la même densité au film après un fantôme de 17,5 cm (BURR et HOLLOWAY), il faut
- à 60 kV, 150 mAs d'un rayonnement de 60 kV non filtré, 240 mAs avec un filtre de 2,5 m/m d'Al;
- à 85 kV,50 et 45 mAs respectivement.

La filtration se fait surtout sentir avec faibles tensions nominales.

L'effet sur la dose d'exposition est très net : là où il faut 1,5 r à la peau sans filtration pour obtenir un noircissement donné au film, il suffit de 0,5 r avec 2,5 m/m d'Al. Sur un cliché du thorax (DESGREZ et MICHEL), il faut 3,5 r à 65 kV et 0,43 r à 90 kV avec 3 m/m d'Al.

3) - Le redressement du courant. En utilisant un courant correctement redressé, on obtient une élimination élective des composan-

tes molles qui apparaissent surtout entre les crêtes. Avec un redresseur à 12 ou 6 kénotrons, il faut une tension nominale et une dose d'exposition moindres qu'avec un redressement à 4 kénotrons, à fortiori avec un appareil autoredrsseur.

Ces trois techniques n'ont en fait qu'un effet assez limité sur la protection:

a) - le rayonnement diffusé en dehors du faisceau direct est un peu plus élevé avec les hautes tensions,
b) - pour obtenir une bonne image, il faut des grilles antidiffusantes d'un rapport plus grand;
c) - la réduction porte essentiellement sur la dose d'exposition.

Les filtres supplémentaires n'apportent aucune réduction de la dose intégrale absorbée (REINSMA).

- Pour le thorax, la dose intégrale absorbée est en moyenne de 2,8 kg rads avec 2 m/m d'Al et 2,6 avec 8 m/m d'Al;
- Pour l'estomac elle est de 25 kg rads avec 2 m/m d'Al et 24,7 kg rads avec 8 m/m d'Al;
- Pour le colon 58,8 kg rads (sur 43 examens) et 59,5 kg rads (sur I9 examens) respectivement.

- LA REDUCTION DE LA DOSE INTEGRALE.

S'il ne faut pas rechercher dans la modification de l'appareillage (filtration supplémentaire et hautes tensions) de diminution du risque somatique, on peut, par contre, en économisant le rayonnement, obtenir la même information pour une moindre absorbée. Cela dépend avant tout de l'habileté du radiologue et de son manipulateur.

On peut être avare de rayonnement en l'économisant dans le temps et dans l'espace.

1. - Réduction de la durée des examens.

La réduction dans le temps de l'irradiation peut se faire de plusieurs manières, mais en pratique cela est difficile.

a) - La diminution de la durée de la radioscopie.

La durée du temps radioscopique des examens viscéraux est, d'après les différents auteurs, de même ordre de grandeur.

Des mesures que nous avons faites lors d'examens de l'estomac chez le nourrisson, nous avons constaté que l'opérateur sous-estimait régulièrement la durée de sa radioscopie. La réduction du temps qu'il peut obtenir en faisant attention et en se sachant chronométré n'est jamais très importante (n'atteignant que rarement 50%). Il est de plus, des examens difficiles, tel le cathétérisme intracardiaque, dont la durée n'est pas fonction de l'habileté de l'opérateur.

Le radiologue doit diminuer le nombre et la durée de ses coups de pédale (en moyenne ils durent 13 secondes), mais ce conseil ne saurait contribuer à la réduction de l'irradiation d'une manière très importante.

b) - La suppression des temps morts. En radio-cinéma, le malade est irradié pendant le temps d'occultation de la caméra de prise de vues sans qu'aucune information soit recueillie. Un système d'émission des rayons X par éclairs synchrones au déroulement du film assure une économie de l'irradiation.

2. - La collimation du faisceau et le problème des diaphragmes.

Une partie importante du flux d'énergie ne sert pas à l'obtention du message radiologique, parce qu'elle tombe en dehors du film : cela est particulièrement net pour les clichés faits au sélecteur lors des examens digestifs où l'on n'a pas le guide d'un centreur lumineux.

Une partie du rayonnement recueilli sur le film tombe aussi en dehors des viscères opacifiés ou des parties intéressantes: si le premier cliché apporte une information de dépistage systématique, les suivants ne font plus que répéter une irradiation alors inutile.

Pour l'estomac du nourrisson, nous avons montré qu'un champ au film de 50 cm2 suffit pour les séries bulbaires, alors que le sélecteur coupant en 6 le cliché de 24 x 30 découvre 120 cm2 de film.

La collimation est surtout indispensable chez les enfants: une marge blanche entourant l'image prouvant que le faisceau direct est entièrement contenu dans le film doit être l'ambition de tout radiopédiatre.

En radioscopie, un ressort de rappel devrait rappeler au doigt du radiologue la nécessité de la collimation et fermer automatiquement le faisceau lorsque l'attention de l'opérateur se relache, tout comme la pédale de radioscopie demande un effort volontaire pour déclencher l'irradiation.

Avec les amplificateurs de brillance, un diaphragme rond doit être adapté au diamètre de l'appareil: on a proposé un cylindre mobile autour du cône du faisceau et asservi à la distance foyer-écran.

D - LE RECUEIL DE L'IMAGE.

La technique radiologique a cherché à améliorer le débit et la solidité des générateurs et des tubes: cela est maintenant chose faite et tout ce qui se passe en amont du malade a atteint un point de perfection suffisant.

En aval, par contre, les techniques se perfectionnent sans cesse et on pourrait mesurer leur évolution depuis le début du siècle, en comparant les doses émergentes nécessaires pour obtenir une image radiologique.

Les améliorations ont porté sur :

a) - d'une part, les films, les grilles et les écrans et il ne semble pas que l'on puisse faire beaucoup mieux,

b) - d'autre part, l'amélioration du rapport photons X émergents/ photons lumineux: l'avenir de la protection lui appartient.

1 - Le recueil de l'image radiographique.

Avec des écrans et des films rapides, on peut diminuer l'irradiation d'environ la moitié (ARDRAN par rapport aux écrans et films standards. La perte corollaire de la finesse de l'image n'est pas importante pour la radiologie digestive et l'emploi de la technique haute tension-filmsrapides permet, jointe à une collimation efficace, de réduire, toutes choses égales par ailleurs, la dose intégrale absorbée lors des examens des viscères digestifs dans la proportion de 5 à 1, voire de 10 à 1, mais ceci est un maximum et ne concerne que les examens en contraste baryté.

Le développement des films n'est pas, en routine, as-

suré dans les conditions optimum. La développeuse automatique assure la régularité et la fidélité du développement et contribue de ce fait à la réduction des doses, les films étant le plus souvent surexposés et surdéveloppés.

Le Logétron, enfin, (TUDDENHAM, FISCHGOLD) adapte mieux le contraste des films faits à haut kilovoltage.

2) - L'amplificateur de brillance.

Apparus sur le marché vers 1956 (DESGREZ, NOIX, HODGE) et en voie de diffusion rapide sur le marché, l'amplificateur de brillance (ou de luminescence) permet une augmentation du rendement radiologique de trois manières :

1 - diminution de la dose émergente nécessaire à former l'image,
2 - travail en salle claire, c'est-à-dire meilleure direction de l'examen,
3 - recueil sur support de la totalité de l'information.

a) - Le pouvoir amplificateur.

Un photon de radiation X absorbé par la photocathode libère 20 à 30 photo - électrons. Accéléré, ce photon électron donne, par impact sur l'écran fluorescent secondaire 2.000 Photons lumineux. Concentré sur une surface 100 fois moins grande, on arrive à augmenter la densité de photons par unité de surface environ 1.000 fois par rapport à celle de l'écran radioscopique ordinaire. Cette luminescence est suffisante pour permettre le couplage optique avec une caméra de télévision. L'information recueillie est plus grande et le rendement meilleur. Pour une quantité de rayonnement égale, on obtient une information supérieure susceptible d'être recueillie sur un écran de télévision ou un film cinématographique.

b) - La radioscopie en plein jour.

JUTRAS et CHERIGIE (1960) ont salué l'évènement que représentait pour le radiologue le passage du noir à la lumière. Pour une même dose de rayonnement, l'examen pratiqué dans une salle éclairée est plus commode et peut durer moins longtemps que dans le noir.

En réglant l'éclairage de la salle à un niveau suffisant pour se mouvoir facilement et en choisissant les constantes optimum de réglage de la chaîne de télévision, nous avons estimé qu'en routine, on pouvait avec une quantité de rayonnement sept fois moindre qu'en radioscopie conventionnelle, réaliser le même examen de l'estomac du nourrisson.

Cette réduction n'est pas possible en radiocinéma : elle ne l'est que pour la radioscopie télévisée ; les appareils devraient être munis d'un système permettant de faire varier le débit de dose automatique lorsque l'on passe de la surveillance en télévision à l'enregistrement cinématographique.

c) - Le recueil total de l'information.

Avec la radioscopie conventionnelle, l'information est recueillie sur la seule rétine du médecin et seul un compte-rendu écrit forcément subjectif est conservé.

Or, une partie de l'attention du radiologue est, au cours des temps scopiques de ses examens, prise par la mise en place du malade et des passages intéressants peuvent lui échapper. La télévision permet à des spectateurs non préoccupés par la direction de l'examen de suivre plus attentivement l'examen. GIRDANY propose de recueillir sur bande magnétique la totalité des passages de radioscopie : on peut alors les revoir après l'examen, les photographier pour les conserver si on le désire.

L'amplificateur de brillance ne saurait réduire l'irradiation à moins de 10^{-1} par rapport à l'écran fluorescent habituel. Le bruit de fond électronique de l'ensemble amplificateur interdit des gains supérieurs.

Mais l'augmentation du rendement radiologique à en escompter est supérieur du fait que la totalité de l'irradiation se transforme en message susceptible d'être recueilli sur support. Les

indications du radiocinéma s'en trouvent multipliées et le diagnostic médical en tire grand profit dans tous les domaines.

3) - Le phénomène d'électro-luminescence (effet DESTRIAU).

Avec la radioscopie conventionnelle, 300.000 photons X incidents deviennent 3.000 photons X émergents qui se transforment en 6.10^6 photons lumineux, dont 300 seulement parviennent à la rétine. Avec un renforçateur électroluminescent de luminescence, tel qu'il commence à en apparaître sur le marché américain, 3.000 ou 3.10^4, photons soit cent fois plus, parviennent à la rétine. L'image amplifiée est de même dimension avec un meilleur contraste et une définition du même ordre de grandeur.

La technique de ces écrans renforçateurs n'est pas encore complètement au point, mais dans la décennie qui vient ils seront appelés à remplacer les écrans conventionnels de radioscopie.

x x

x

L'ordre de grandeur des diminutions du rayonnement à escompter est à envisager pour un examen donné et pour l'ensemble des examens pratiqués dans une population.

1) - En combinant tous les procédés existants, tenant :

- au comportement économe du radiologue : bonne collimation, bonne adaptation à l'obscurité, développement optimum des films, pose de caches protecteurs ;
- et à l'amélioration simple de l'appareillage : filtration supplémentaire, emploi des hauts kilovoltages, films et écrans rapides,

on aboutit à une réduction des doses au niveau de :

- 10^{-1} pour le risque somatique et le risque génétique féminin,
- 10^{-2} pour le risque génétique masculin.

2) - Avec les techniques récentes de transformation du message radiologique en message lumineux, on peut atteindre une amélioration de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-2} susceptible en partie de se combiner avec les améliorations précédentes.

Si pour un examen, on peut attendre donc une réduction du risque au centième environ de ce qu'il est maintenant, pour une population, il faut tenir compte de la vitesse de diffusion des techniques nouvelles :

a) - rythme de rajeunissement de l'appareillage : substitution de la radioscopie à la graphie, apparition des amplificateurs, équipement en haute tension,

b) - pénétration de la mystique de la protection dans les consciences médicales : de nombreuses publications récentes ont attiré l'attention sur les risques radiologiques possibles et les moyens de les diminuer. En radiopédiatrie surtout, les médecins ont pris les mesures qui s'imposaient et il semble que les doses populations en aient été réduites dans de fortes proportions.

Il serait intéressant de pouvoir suivre par quelques indices globaux et simples recueillis annuellement :

- d'une part, l'augmentation de la consommation radiologique,
- d'autre part, le degré de protection atteint et dont a bénéficié la population : âge moyen de l'appareillage et des écrans fluorescents, croissance du parc des amplificateurs, proportion de films rapides utilisés, fréquence d'emploi des caches gonades, valeur de la collimation, etc...

Il est vraisemblable que le rythme d'expansion de la radiologie sera bien plus lent que celui des mesures de protection. Si bien que dans dix ans on pourra assister à un doublement de la consommation radiologique, tandis que, parallèlement, les doses-populations (génétique et somatique) auront diminué au moins de moitié, sinon des neuf dixièmes.

Le risque radiologique ne sera donc posé que vers les années 1950-1960, à une époque où l'expansion de la radiologie s'est faite plus vite que l'élévation de son taux de rendement en information.

Il n'est pas certain que les radiations ionisantes du radiodiagnostic présentent un risque, mais on doit faire comme si ce risque, surtout génétique, existait, et tout mettre en oeuvre pour le réduire. On vient de voir que cela était possible et qu'en pratique le risque diminuait rapidement malgré l'expansion de la radiologie.

Reste à se demander si certains examens radiologiques ne présentent pas d'autres risques que celui dû aux radiations et à replacer le risque radiologique dans le cadre général du risque médical et du risque de la vie moderne.

CHAPITRE IX - LE RISQUE LIE AUX PRODUITS DE CONTRASTE.

Le contraste naturel dû à la différence de composition atomique ou de densité des tissus ne suffit pas à rendre visibles, radiologiquement, tous les organes. Aussi s'est-on très vite ingénié à remplir viscères et vaisseaux de produits créant ces contrastes, qu'il s'agisse de gaz ou de produits riches en atomes lourds :

- l'air est le plus utilisé des contrastes clairs mais l'hélium, gaz inerte, l'oxygène et surtout le CO^2, vingt fois plus vite absorbé que l'air, tendent à le remplacer ;
- le sulfate de baryum dans des solvants divers est le produit de contraste idéal et parfaitement au point pour les viscères digestifs ;
- les dérivés organiques de l'iode, lipo ou hydrosolubles, agents de contraste en constante amélioration ont permis l'essor de nouvelles techniques.

Si bien qu'en employant judicieusement ces irremplaçables agents, il est possible d'explorer directement ou indirectement tous les organes de l ' économie , le pancréas et les veines rénales semblent encore être les seuls à échapper au radiologue.

Mais l'emploi de ces produits de contraste expose à des incidents et des accidents, qu'il s'agisse de leur toxicité propre, du traumatisme occasionné par leur injection ou de la sensibilité particulière du malade à leur égard et l'on peut se demander si le risque radiologique n'est pas plus grand du fait de leur emploi que du fait des radiations ionisantes.

Nous envisagerons successivement :

1 - La nomenclature des produits de contraste et l'importance de leur utilisation,

2 - les risques de l'urographie intraveineuse, choisie comme exemple d'examen fréquent,

3 - les incidents et accidents de l'angiographie, exemple d'un examen important dont l'indication n'est posée que dans un nombre limité de cas.

4 - Les risques les plus divers observés dans d'autres catégories d'examen.

A - DIFFERENTES VARIETES D'OPACIFIANTS - LEUR EVOLUTION.

1) - Les principaux produits employés.

Si les améliorations du sulfate de baryum ont porté essentiellement sur les dimensions de ses particules et l'adjonction d'agents mouillants (tweens, methyl ou carboxyméthylcellulose), il s'est agi, pour les agents iodés de transformations plus importantes.

a) - Les produits iodés liposolubles restent en France, essentiellement le lipiodol, mais des astuces techniques permettent de le rendre plus ou moins fluide (choix de l'huile iodée, adjonction de sulfanilamide ou de poudres inertes).

b) - Les dérivés hydrosolubles ont connu depuis 40 ans la plus grande évolution et la plupart des produits utilisés maintenant datent d'une dizaine d'années seulement.

Pour l'examen de la vésicule biliaire par voie orale, les dérivés iodés de la phénolphtaléine ont été remplacés successivement par :

- l'acide iodoalphionique (Phéniodol), puis
- l'acide iopanoique (Télépaque), et
- le bunamiodyl (Orabilix).

Assistance Publique à Paris = CONSOMMATION DE PRODUITS DE CONTRASTE (1)

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
(1) Viscères digestifs Baryte	23,49	21,50	21,66	21,53	19,17	18,46	17,58	17,21	14,98	14,44
(2) Urographie										
Diodone 35 - 20 cc	4,77	5,58	8,00	7,92	6,09	5,62	4,41	6,60	7,66	5,24
Radio sélectan urinaire	6,28	8,41	9,65	8,74	5,93	4,56	3,75	3,72	3,62	2,61
Diodone 50 - 20 cc						10,22	9,84	16,83	20,76	22,22
Vasurix 38 - 20 cc						1,16	3,27	9,15	12,67	13,77
Total(2)	11,05	13,99	17,65	16,67	13,23	22,07	21,52	35,88	44,95	44,17
(3) Vasculaire										
Diodone 70 - 20 cc	4,60	4,49	2,91	1,63	2,02	0,75	1,11	0,56	0,99	0,37
Vasurix 50						0,71	0,91	1,69	1,70	2,65
(4) Total tous hydrosolubles iodés réunis (3)	15,66	18,48	20,57	18,50	19,36	28,28	27,58	41,49	54,14	57,42
(5) Cholécystographie per os										
- phéniodol	9,89	9,17	9,89	4,87	0,32					
- orabilix								17,25	18,75	10,96
- télépaque						20,06	20,03	19,25	12,80	15,90
Total	9,89	9,17	9,89	4,87	0,32	20,06	20,03	26,50	31,55	26,86
(6) Cholécystographie intra-veineuse										
- radioselectan biliaire					6,75	4,11	3,18	4,01	2,08	0,78
- intrabilix						1,42	1,57	2,11	3,45	3,20
Total					6,75	5,53	4,75	6,12	5,53	3,99
(7) Bladex						1,88	2,92	3,44	3,66	4,27
(8) Bronchographie										
-Lipiodol Sulfanilamide			0,60	1,25	1,65	1,69	1,47	1,36	1,56	0,80
-Propylix aqueux						0,56	1,25	1,66	1,34	0,93
(9) Radiculographie										
-Méthiodal						0,43	1,00	0,80	1,17	1,38

(1) Baryte en tonnes, ampoules et comprimés en milliers - (2) Y compris l'acétiodone 50 -
(3) Acetiodone, Diodone, radiosélectan urinaire et vasurix sous toutes leurs concentrations et formes dont celles précédemment indiquées.

Par voie intraveineuse, on emploie l'acide adipique (Biligrafin, Radio-sélection biliaire et Intrabilix en sont les dérivés).

Pour l'urographie, la même substitution de produits s'est opérée. Après les précurseurs (iodure de sodium (Méthiodal, Ténébryl), puis l'iodopyracet (Diodone) , ont été employés :

- l'acétrizoate (Acétiodone, Urokon, Vasurix), le diatrizoate (Hypaque, Urografin, Radiosélectan urinaire) et le diprotrizoate (Miokon).

Ils sont employés sous forme de sels de sodium ou de méthylglucamine seuls ou mélangés dans des proportions variables, de manière à réaliser un compromis entre leur viscosité, leur concentration et leur teneur en iode ; la recherche d'une meilleure tolérance et d'une plus grande fluidité à opacité égale pour l'angiographie a été le moteur de cette évolution.

c) - La suspension dans l'eau ou dans l'huile de cristaux de propyliodone ou d'autres fins cristaux sont utilisés essentiellement pour la bronchographie, accessoirement pour d'autres examens, tels que cystographie ou laryngographie (Dionosil aqueux ou huileux, Propylix aqueux ou huileux).

2) - La consommation de produits de contraste dans les hôpitaux de Paris.

La pharmacie centrale de l'Assistance Publique tient depuis dix ans une comptabilité en espèce des produits employés à l'usage des malades hospitalisés ; en principe, les consultants externes apportent leurs drogues achetées à l'extérieur mais, inversement, des échantillons de produits nouveaux sont employés sans être comptés.

On peut se faire néanmoins une idée de l'évolution, voir l'importance relative des différents examens avec contraste et suivre le remplacement d'un produit par un autre.

La consommation de baryte décroit régulièrement depuis 1951 ; il est peu probable que le nombre d'examens correspondants ait diminué. La mise en sachets de 150 grammes au lieu de l'emploi en vrac a sans doute permis d'en économiser une partie ; il est aussi possible que les échantillons de baryte aromatisée soient employés en quantité importante et que maintenant tous les consultants externes apportent leurs sachets. Il y a néanmoins là une constatation inattendue.

La consommation de lipiodol décroit régulièrement, mais la majeure partie devait, il y a quelques années, être administrée dans un but thérapeutique.

Pour les produits hydrosolubles, l'expansion est remarquable : le nombre d'ampoules employées (cholécystographie exclue) passe de 15.600 à 57.400 en dix années.

On ne peut pas distinguer avec certitude ce qui appartient à chaque examen en propre, mais on peut se faire une idée de l'expansion de l'urographie d'après le nombre d'ampoules de Diodone 35, Diodone 50, Vasurix 38 et Radiosélectan urinaire ; le nombre en passe de 11 à 44.000.

La Diodone est moins utilisée, le Radiosélectan urinaire croît vite et le Vasurix encore plus vite.

Pour les produits concentrés (Diodone 70, Vasurix 50) plutôt employés pour les explorations vasculaires, on constate la même substitution.

La consommation de comprimés d'opacifiants oraux de la vésicule biliaire montre très nettement le remplacement du Phéniodol par l'Orabilix et le Télépaque. La biligraphie par voie intraveineuse se développe rapidement vers les années 1955-56, puis, après un moment de vogue, les indications s'en précisent et le nombre d'ampoules employées diminue un peu.

Ces drogues correspondent en 1960 à :

- 3 à 4.000 examens per os selon que l'on évalue le nombre de comprimés par examen à 6 à 9,
- 4 à 5.000 par voie intraveineuse.

Cette différence entre le nombre d'examens par voie orale et par voie intraveineuse s'explique probablement par le fait que la plupart des cholécystographies orales sont pratiquées sur des malades externes.

Le Bladex au lieu du repas de Boyden est employé une fois sur deux et son utilisation se généralise.

Pour la bronchographie, le lipiodol sulfamilanide tend à être remplacé par le Propylix aqueux.

Quant au Méthiodal, agent spécifique de la radiculographie lombaire, on en consomme environ 1.000 ampoules par an.

Si bien que sur les 500.000 examens radiologiques effectués en 1960 pour les malades hospitalisés, on peut dénombrer environ :

- 96.000 examens digestifs avec baryte,
- 57.000 dont 44.000 urographies,
- 8.000 cholécystographies,
- 1.000 radiculographies lombaires.

La substitution d'un produit à un autre a dû se faire dans le reste de la France à peu près au même rythme ; on peut ainsi mesurer, par l'emploi de produits mieux adaptés, la diminution du risque potentiel dû aux opacifiants.

B - LES RISQUES DE L'UROGRAPHIE INTRAVEINEUSE.

Après PENDERGRASS, PIZON en a fait la revue générale (1956).

a) - Les incidents locaux ne sont pas rares, mais se voyaient surtout avec le Ténébryl et l'Acétiodone. La douleur dans le creux axillaire lors de l'injection est interprétée comme la preuve d'une irritation de l'endoveine avec spasme ; elle est d'autant plus fréquente que la durée d'injection est plus lente. Les phlébites et embolies peuvent se voir comme dans toute injection intraveineuse. Les incidents généraux consistent en irritation laryngée, état de malaise avec palpitations et nausées. Comparant trois produits, NESBIT et MORROW, sur 3.454 malades, évaluent la fréquence de ces désagréments : 29 % avec l'Hypaque (Radiosélectan urinaire), 48 % avec le Miokon (sans équivalent en France) et 58 % avec l'Urokon (Acétiodone), tous concentrés à 50 %. Ce sont, par ordre décroissant, les nausées (10 à 30 %), surtout avec l'Urokon, les vomissements, les bouffées de chaleur, la sensation de vertige, l'urticaire (de 2 à 5 %), le spasme nerveux (3 %), la crampe, la sensation d'étouffement. Ces incidents sont souvent le premier temps d'accidents mortels. PIZON relève 54 morts immédiates et 11 morts retardées avec une fréquence d'environ 13 pour un million d'examens pratiqués entre 1940 et 1955, surtout aux Etats-Unis.

b) - Les accidents immédiats revêtent la forme pulmonaire (O.A.P.), nerveux (céphalée, vomissements, héniplégie) ou cardiaques (collapsus) ; il peut s'agir d'un choc brutal ou très rarement d'un état anaphylactique avec oedème et prurit. Ces morts rapides se sont vues avec des quantités de produits inférieures à 5 cc, la mort survient, le plus souvent, dans les premières minutes.

Les examens anatomiques montrent toujours les mêmes lésions : congestion pulmonaire, oedème cérébroméningé, apoplexies viscérales multiples.

La clinique et l'anatomie pathologique de ces accidents

plaident en faveur d'un syndrome d'irritation généralisée grave (phénonène de REILLY et TARDIEU) dont le point de départ serait veineux ou pulmonaire.

c) - Les accidents retardés sont rénaux : oligurie ou anurie conduisant à la mort en quelques jours ou semaines. L'opacifiant peut provoquer par lui seul une néphrite mixte, glomérulaire et tubulaire et l'on constate couramment après une angiocardiographie des anomalies transitoires du culot urinaire. Le syndrome de REILLY peut aussi amener une anurie réflexe. Ces accidents sont d'autant plus fréquents que l'état rénal antérieur est médiocre et, en particulier, l'existence d'un myélome doit faire contrindiquer formellement l'urographie.

d) - Ces accidents ont été relevés avant l'apparition du phénergan. S'il est difficile d'apprécier en valeur curative une fois l'accident déclenché, sa valeur préventive est certaine ; on ne constate chez les malades prénédiqués pour une angiographie et recevant des quantités plus importantes de produit aucun de ces incidents précoces si fréquents dans l'urographie.

Les tests que l'on a pu proposer en pensant à l'origine allergique des troubles (test sous-cutané, conjonctival ou intraveineux) n'ont, en pratique, absolument aucune valeur. La vraie prévention consiste à refuser l'urographie aux sujets dont les fonctions rénales sont atteintes.

C - LES RISQUES DES ANGIOGRAPHIES.

Les examens vasculaires sont de trois types, selon que l'on injecte le produit directement dans un vaisseau (aorte abdominale ou pointe du ventricule gauche) à distance à l'aide d'un cathéter introduit dans une artère fémorale ou humérale (méthode de SEDLINGER) ou dans une veine (angiographie élargie).

Les accidents seront donc en rapport avec la ponction proprement dite, la suppression à l'endroit où l'opacifiant rencontre les parois vasculaires et la quantité d'opacifiant employée.

1) - L'aortographie thoracique.

CARON rapporte la statistique de ABRAMS : 29 morts sur 1.706 aortographies dont 9 accidents nerveux (crises convulsives, héniplégies), 4 syncopes cardio-respiratoires, 2 anuries. Trois décès sont à inputer à l'anesthésie. L'injection rétrograde dans la carotide est plus dangereuse que dans l'humérale.

2) - L'aortographie abdominale.

Sur 13.207 examens, 37 morts (0,28 %) et 98 accidents graves (1,02 %) ont été colligés par Mac AFEE. Les accidents rénaux sont les plus fréquents, liés à la toxicité propre du produit (MORRIS) en solution hypertonique. Les complications nerveuses (paraplégie flasque) semblent dues à l'action toxique directe sur la moelle qui est anatomiquement mal vascularisée et présente une ischémie s'il y a vasoconstriction des artères qui l'irriguent.

On a signalé des hématomes profonds rétropéritonéaux parfois mortels, des complications cardio-vasculaires ou pulmonaires (hémothorax au point de ponction).

Le cathétérisme rétrograde expose à des escarres au point d'injection, des hématomes et des perforations de la fourche aortique chez les sujets athéromateux. La dissection des parois de l'aorte avec opacification intramurale est en effet, chez eux, fréquente (36 fois sur 419 selon GUDBJERG). On décrit aussi des infarctus intestinaux par dissection de la mésentérique supérieure.

FAURE et collaborateurs ont eu 2 décès chez 272 sujets explorés pour hypertension, l'un huit heures après chez un sujet atteint d'une périartérite noueuse méconnue, l'autre par insuffisance

rénale avec défaillance cardiaque. Cette fréquence des accidents est à comparer à celle des anomalies rencontrées : 116 anomalies dont 24 guéries après intervention. Ces anomalies n'auraient pas pu être diagnostiquées par d'autres procédés que l'angiographie rénale. Le risque radiologique est donc, dans ce cas, justifié.

3) - Dans les angiocardiographies, les morts subites au cours du cathétérisme sont souvent signalées, aussi bien avant qu'après l'injection du produit de contraste, qu'il s'agisse d'iode ou de gaz carbonique. L'angiocardiographie sélective par ponction du ventricule gauche expose, si la technique n'est pas parfaite, à l'hémopéricarde (42 injections intra-myocardiques sur 437 examens relevés par GREFENBERG avec 2 décès).

Dans la genèse de ces accidents, plusieurs mécanismes sont en général invoqués :

- hyperpression au lieu d'injection, surtout s'il y a un obstacle en aval ou si l'extrénité du cathéter s'introduit dans une branche artérielle,
- position du malade (effet gouttière) expliquerait certaines paraplégies après aortographie abdominale,
- action propre du produit sur le sang signalée par LASSER. Il y a une corrélation entre la toxicité du produit et sa capacité à se fixer aux albumines (facteur rhumatoïde en particulier) et à provoquer l'agglutination et la lyse des hématies.

D - COMPLICATIONS DIVERSES.

1) - Fausses routes de la baryte.

La fausse route au cours de l'absorption de baryte semble

ne pas présenter les dangers qu'on lui attribuait classiquement, du moins chez l'adulte. WILLSON rapporte seize cas d'inhalation de baryte parfaitement bien tolérée et l'expérimentation animale confirme ce fait, au point que l'on a proposé de pratiquer la bronchographie avec une suspension de baryte.

Plus souvent, les fausses routes de baryte sont signalées au cours du lavement, en particulier chez l'enfant atteint de maladie de Hisprung ou de rectocolite ; la canule de Pouliquen souvent responsable de perforation rectale et exposant à une hyperpression est à rejeter formellement.

La baryte est très mal supportée par le péritoine et peu de ces malades guérissent ; elle peut cependant s'enkyster et donner un granulome.

2) - Les examens neuroradiologiques.

Les arachnoïdites secondaires au lipiodol intrarachidien ont fait inventer plusieurs aiguilles pour soustraire le produit après l'examen et proposer le recours à la myélographie gazeuse qui n'expose pas à ces accidents (BONTE). Des accidents infectieux (méningite) se sont vus comme après toute rachicentèse.

L'artériographie carotidienne et surtout vertébrale expose à des morts subites, des hématomes, des séquelles neurologiques.

La radiculographie lombaire au Méthiodal a pu occasionner des paraplégies flasques dont on discute le mécanisme. L'anesthésie à la xylocaïne, plus diffusible, est à préférer à celle à la Maxiraine ; le Méthiodal agissait par son hypertonie propre ainsi que FUNSQUIST et OBEL l'ont montré chez le chien et les lésions médullaires seraient d'autant plus importantes que l'hypertension due à la rachi-anesthésie est plus marquée.

3) - Les embolies huileuses.

On en a signalé après hystérographie, fistulographie et lymphographie au lipiodol. Nous avons observé, après ce dernier examen, un décès chez un enfant de dix ans, lié sans doute à un surdosage (30 cc de lipiodol pour 30 kg de poids corporel), mais l'oedème aigu du poumon est apparu quatre jours après la lymphographie (qui s'était accompagné de la miliaire iodée habituelle) et deux jours après une cavographie. Ce genre d'accident retardé s'explique mal. En tout cas, ces embolies sont en général très bien tolérées, au même titre que l'est l'injection d'huile camphrée.

4) - Les difficultés d'interprétation.

Bien des accidents après injection du produit de contraste s'expliquent mal. Certes, il en est dont l'interprétation est facile : embolie barytée ou gazeuse par injection dans une veine hémorroïdale au cours d'un lavement ou d'un rétropneumo-péritoine, injection d'air dans le confluent de Pirogoff au cours d'un pneumo-médiastin.

Les morts subites consécutives à l'anesthésie pharyngée à la cocaïne se sont vues dans des bronchographies.

Mais dans certains cas, on comprend mal ce qui a pu se passer. On nous a signalé trois cas de décès chez l'enfant après arthrographie de la hanche à la diodone. La mort survient dans les 24 heures avec fièvre, dyspnée, collapsus. On soulève les hypothèses infectieuses, toxiniques, toxiques sans pouvoir les prouver. Il est possible que ces cas rentrent dans le cadre du syndrome d'irritation végétative, les veines et les articulations étant des organes sensibles, mais il est plus difficile d'expliquer un cas récent de mort dans un tableau semblable après urographie par voie intramusculaire chez un enfant de quatre ans.

Quoiqu'il en soit, ces accidents posent de difficiles problèmes pratiques. Les services de radiologie sont encore mal équipés pour faire face à ces défaillances : HUNZIKER a donné la liste des médicaments et du matériel indispensable en cas d'urgence et DOTTER a même proposé un appareil pour réaliser facilement le massage externe du coeur. La prévention de ces accidents est possible par la prémédication, surtout chez les sujets anxieux ou ayant des antécédents allergiques, par l'amélioration de nos agents de contraste et une bonne indication de l'investigation radiologique.

Ces examens sont d'un grand rendement en information médicale et fournissent des renseignements qu'aucune autre méthode n'aurait pu procurer ; ils n'en doivent pas moins être proposés avec discernement.

CHAPITRE X - RISQUE RADIOLOGIQUE, RISQUE MEDICAL ET AUTRES RISQUES.

- De la radiophobie comme toile de fond.

D'un ramas de coupures de journaux médicaux ou profanes, le lecteur retire l'impression générale que les rayons X sont dangereux et qu'il vaut mieux ne pas y recourir et, en cas de réel besoin, ne le faire qu'avec une crainte respectueuse. Le caractère invisible des photons X les rend plus mystérieux encore la complexité de la dosimétrie ajoute aux craintes et engendre une radiophobie explicable chez le malade, compréhensible chez son médecin, discutable chez le radiologue.

1) - Dans le grand public, trois vagues d'hystérie (BRUCER) ont déjà passé :

- la première au début du siècle, en présence des premiers accidents graves des pionniers de la radiologie. Le bénéfice procuré par les rayons X a compensé ces craintes.
- Vers les années 30, l'hystérie prit seulement les spécialistes, à propos de la définition des unités radiologiques.
- La troisième vague se situe pendant les années 50. Elle a dépassé le cercle des atomistes, des radiologistes et des médecins pour intéresser les pouvoirs publics et la population dans son ensemble à un point tel que l'O.M.S. a réuni une commission d'experts en 1957 et 1958 pour discuter de l'énergie atomique et de l'hygiène mentale.

Le public, presque partout, considère l'énergie atomique comme une puissance mystérieuse et menaçante à l'égard de laquelle il éprouve des sentiments magiques. Il en résulte des craintes ou

des espoirs irrationnels dont les conséquences, tant sociales qu'individuelles, peuvent représenter un véritable danger. Car si de grosses doses de radiations sont dangereuses, de grosses doses d'hystérie le sont plus encore.

L'homme de la rue, sans hésiter, attribue le mauvais temps et les mauvaises récoltes aux essais atomiques. Les craintes inspirées par les retombées radio-actives et les déchets atomiques sont autant d'expression directe d'une anxiété sous-jacente et sont en contradiction avec les nombreuses déclarations officielles concernant les mesures de sécurité.

Le rôle de la presse est considérable dans la diffusion de ces craintes. On y lit : "Le poison atomique et ses dangers" (l'Express, 7 Juin 1959) ; "Alerte à la radio-activité" (Ann. Médecine Prat. et Soc., Mai 1960).

Par extension, ces craintes éclaboussent le radiodiagnostic :

"Les rayons X sont cause de l'accroissement du nombre des sourds-muets, des idiots, des tarés, en provoquant des mutations génétiques. Ils font de la mauvaise vie. Les rayons X sont six fois plus dangereux encore que les explosions nucléaires" (Jean ROSTAND, l'Aurore, 5 Février 1962).

"Faut-il se méfier des rayons X ? Le recours immodéré à la radioscopie, à la radiographie ou au traitement aux rayons, peut avoir des conséquences dramatiques" (Lectures pour Tous, Novembre 1959).

"La généralisation des examens radioscopiques et les dangers de l'irradiation abusive" aux "Entretiens de Bichat" avec les sous-titres suivants : "Une radioscopie irradie cent fois plus qu'une radiographie ; vingt-cinq millions de radioscopies annuelles" (Le Monde, 18 Octobre 1961).

A la tribune des Assemblées, des parlementaires posent des questions au Ministre de la Santé :

- Pierre FERRAND qui est radiologue, le 15 Mai 1957 demande les mesures envisagées par le Gouvernement devant les dangers que présente l'emploi des radiations et la lourde responsabilité du Corps Médical dans l'emploi des rayons X,

- M. MAINGUY (24 Novembre 1961), expose les mêmes craintes.

2) - Dans les revues médicales même, les auteurs sont inconsciemment influencés par la crainte ambiante en titrant leurs articles : "Les examens radiologiques sont-ils dangereux" (P. THEIL) ; "La place des rayons X utilisés à des fins médicales dans l'irradiation artificielle ou les dangers d'une radiophobie excessive" (BUCHET et LAFAY) ; "Les examens radiologiques présentent-ils un risque" (TUBIANA et LAUGIER) ou même leur thèse "Le risque radiologique".

Aussi, des Commissions Scientifiques ont-elles été constituées dans plusieurs pays, en Angleterre (Rapports du Medical Research Council de 1956 et de 1960), aux Etats-Unis (National Academy of Sciences 1957, et National Comminttee on Radiation Protection and Measurement (N.C.R.P.)), en Suède, au Danemark, en Australie. En France, un décret (J.O. 24 Juin 1955, puis arrêté du 28 Juillet 1961) a institué une Commission chargée d'étudier les problèmes de protection contre les radiations et, par incidence, de s'intéresser au radiodiagnostic : il en est né un service central de protection contre les rayonnements ionisants (S.C.P.R.I.) (arrêté du 15 Août 1960). La 10° Assemblée Générale des Nations Unies a constitué un Comité Scientifique pour l'étude des effets des radiations ionisantes (U.N.S.C.E.A.R.), tandis que l'O.M.S. réunissait périodiquement des réunions d'experts et que la Commission Internationale de Protection Contre les Radiations (I.C.R.P.) - organisme dépendant des Congrès Internationaux de Radiologie et reconnu par l'O.M.S. comme organisme non gouvernemental - faisait, en liaison avec celle des Unités Radiologiques (I.C.R.U.), la synthèse des

rapports nationaux et recommandait les mesures de protection à prendre.

Tous ces travaux ont cherché à trouver une équation unique mesurant le danger auquel sont exposées les populations du fait des radiations de toute nature.

1 - Ainsi pourra être précisée la place de la radiologie médicale dans l'ensemble des irradiations naturelles et artificielles auxquelles est exposée l'humanité,

2 - En parallèle, on mettra le bénéfice procuré par la radiologie médicale et, à propos des examens de dépistage, à apprécier le rendement du radiodiagnostic,

3 - Le risque radiologique est à situer par rapport aux autres risques médicaux et à ceux de la vie moderne.

4 - Les aspects juridiques, professionnels, économiques et pédagogiques en seront enfin envisagés.

A - L'IRRADIATION GLOBALE DE L'HUMANITE : PLACE DE LA RADIOLOGIE MEDICALE.

De tous temps, la matière vivante a été soumise à une irradiation naturelle et la plupart des cosmologues font de cette radio-activité le moteur de l'évolution. On n'en prend conscience que depuis que l'industrie atomique se développe et que l'on possède les moyens de détection nécessaires. Nous envisagerons :

a) - la gamme des irradiations auxquelles l'homme est soumis,

b) - l'irradiation naturelle et artificielle non médicale,

c) - la radiologie médicale enfin.

1) - L'échelle des valeurs d'irradiation.

En ce qui concerne les niveaux de radio-activité exprimés en unités de radio-activité (1 curie = $3,7\ 10^{10}$ désintégration par seconde quel que soit le nuclide), BRUCER propose l'échelle des valeurs suivante :

- 10^6 - négacurie = correspondant à un "désastre",
- 10^3 - kilocurie = charge d'une unité de télégammathérapie externe,
- 10^0 - curie
- 10^{-3} - millicurie = ordre de grandeur d'une dose d'isotopes en radiothérapie métabolique
- 10^{-6} - microcurie - dose traçante prise pour le diagnostic médical.

Les radiations émises par ces nuclides sont absorbées par l'organisme, soit en irradiation externe, soit en irradiation interne, et la dose d'énergie délivrée à l'organisme peut s'exprimer en rem ou en rads si l'irradiation de l'organe critique considéré ou de l'organisme entier est totale.

On obtient ainsi trois gammes dans les niveaux d'irradiation :

a) - selon le volume irradié :

- 10^0 - irradiation totale : bombe atomique, accident de réacteur,
- 10^{-1} - radiographie d'un viscère, radiothérapie profonde,
- 10^{-2} - radiographie d'une extrémité chez l'adulte,
- 10^{-3} - radiothérapie d'une tumeur cutanée.

S'il s'agit de la moelle osseuse, le volume irradié en varie de :

- 10^0 - traitement par le P^{32},
- 10^{-1} - radiographie viscérale de l'enfant,
- 10^{-2} - radiographie d'un membre ou du crâne chez l'adulte.

b) - Selon la quantité moyenne de radiations délivrée :

1) - A un organe :

- 10^3 à 10^4 rads = dose dans le volume cible d'un cancer irradié,
- 10^2 à 10^3 rads = radiothérapie métabolique d'une thyréotoxicose,
- 10^1 rads = dose diagnostique d'iode 131 à la thyroïde,
- 10^0 rads = dose aux gonades lors d'un radiodiagnostic pelvien important (ou mal protégé),

  dose diagnostique d'iode 132 à la thyroïde,
- 10^{-1} rads = dose aux gonades lors d'une graphie abdominale,

  dose gonade naturelle annuelle,
- 10^{-2} rads = dose aux gonades lors d'une radiographie pulmonaire.

2) - A l'organisme :

Si l'irradiation n'est que partielle, on admet, pour fixer les idées, que l'énergie absorbée dans un volume donné se répartit uniformément dans l'organisme entier. En équivalent-irradiation-totale, on a l'échelle suivante des doses d'irradiation :

- 10^3 rads = dose léthale, bombe atonique,
- 10^2 rads = dose critique,
- 10^1 rads = irradiation exceptionnelle concertée dans l'industrie atomique,
- 10^0 rads = estomac et colon du nourrisson,
- 10^{-1} à 10^0 rads = examen viscéral de l'adulte,
- 10^{-2} à 10^{-1} rads = radiographie du poumon,
- 10^{-3} rads = radiographie des membres.

c) - Selon la durée de l'irradiation.

Il est possible que le rythme de l'irradiation intervienne dans l'effet biologique et la restauration des radio-lésions : le caractère chronique, subaigu ou aigu de l'irradiation est à considérer et s'échelonne sur la gamme suivante :

- 10^{-2} sec = durée d'une exposition en radiographie rapide,
- 10^1 à 10^{-1} sec = durée habituelle d'une radiographie,
- 10^1 à 10^2 = durée d'une radioscopie pulmonaire,
- 10^2 à 10^3 = temps radioscopique total d'un examen digestif,
- 10^4 = période de l'iode 132,
- 10^5 = une journée,
- 10^6 = période de l'iode 131,
- 10^8 = trois ans : affection de longue durée,
- 10^9 = trente ans : vie professionnelle.

L'ordre de grandeur de l'irradiation et sa protection dans le temps ne doit jamais être perdu de vue lorsqu'on essaie d'apprécier un risque dû aux radiations.

2) - L'irradiation naturelle et artificielle : son origine, ses valeurs.

La rencontre de l'homme avec les radiations est quotidienne. Certaines sont naturelles, d'autres créées par l'homme. On doit distinguer plusieurs groupes de population selon l'importance de l'irradiation à laquelle ils sont soumis :

a) - Certaines irradiations affectent également tous les individus.

La teneur en radiocarbone et en radiopotassium est la même selon les individus.

Pour les autres nuclides absorbés avec les aliments (radium, thorium), la concentration dans l'organisme varie selon les régions.

L'irradiation externe par les rayons cosmiques est plus intense à haute altitude, trois fois plus à 3.000 mètres qu'au niveau de la mer. Le rayonnement provenant de la terre varie aussi selon les régions : les schistes et les granits sont plus radioactifs que les roches sédimentaires ; les roches riches en silice contiennent davantage de thorium, de radium et de potassium, et une partie des habitations est faite avec ces minéraux. Il est enfin des régions où existent des gisements d'uranium et de thorium. Mais on peut admettre que l'ordre de grandeur de l'irradiation est la même pour tous les individus dans une même région. Leur âge n'intervient que dans la mesure où il augmente la fixation de nuclides, au niveau de l'os notamment.

b) - D'autres irradiations ne concernent qu'une fraction de la population.

Si les retombées radio-actives des 312 essais nucléaires (181 américains, 105 russes, 22 anglais et 4 français) effectués jusqu'en Avril 1962 peuvent être considérées comme uniformément

réparties dans le monde (la surveillance régulière de la teneur en Sr^{90}, en Ce^{137} et en I^{131} de l'atmosphère, des eaux, des poissons et du lait renseigne sur leur importance) ; il n'en est pas de même pour les déchets radio-actifs émis par l'industrie atomique.

Afin de déterminer les mesures de sécurité dans le voisinage des centrales atomiques et des lieux de dépôt des déchets, on a été amené à définir des populations surveillées dont le total ne saurait dépasser 3 % de la population totale et qui risquent d'être un peu plus irradiées que les autres.

On doit aussi considérer, comme de même ordre de grandeur, la population qu'on soumet, cette fois-ci de son propre fait à une irradiation artificielle provenant de montres à cadran lumineux, appareils de télévision, voyage en avion en haute altitude, voire dans le Cosmos (TAYLOR).

3) - Certaines irradiations enfin résultent d'une activité professionnelle.

Au début du siècle il s'agissait d'isolés. Depuis 1945, les travailleurs de l'industrie atomique exposés aux radiations, forment une corporation nombreuse et croissante qui, cependant, ne dépassera pas 1 % de la population totale.

C'est pour ces travailleurs que l'on a été amené à donner un ordre de grandeur des doses auxquelles ils sont exposés, afin d'édicter des mesures de protection.

En 1928, au Congrès de Radiologie de Stockholm, se crée une Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium (que devient l'I.C.R.P.).

- Jusqu'à 1934, l'exposition professionnelle atteint 100 rems/an

- En 1934, elle définit la dose d'exposition admissible, 0,2 r/jour, soit 60 rems/an
- En 1935, la Commission Américaine abaisse ces doses à 0,1 r/jour, soit 30 rems/an
- De 1950 à 1956, l'I.C.R.P. fixe la DMA à 0,3 ren/semaine, soit 15 rems/an
- Depuis le 9 Septembre 1958, l'I.C.R.P. l'abaisse à 5 rems/an.

Cette question de la dose de rayonnement maximum admissible est, en fait, très complexe pour plusieurs raisons :

a) - Elle ne signifie pas que tous les travailleurs exposés sont effectivement exposés à des doses de radiation. NEWELL rappelle le cas du Centre de Hanford, en 1959, qui comprend dix mille travailleurs : on y distingue deux populations selon la dose de radiation mentionnée sur les dosimètres :

  - l'une qui comprend 86 % des travailleurs était exposée en moyenne à 0,68 % de la DMA,
  - l'autre comprenant 14 % du total, exposée à 7,4 % de la DMA.

Chacune de ces populations a une distribution log-normale. La moyenne de l'ensemble est 0,2 r/an.

Dans d'autres Centres, les moyennes ont pu atteindre 1 à 2,5 r/an, surtout lorsque la pratique a consisté à laisser une partie des employés atteindre les limites admissibles avant de les changer de poste.

b) - Elle concerne une dose mesurable, c'est-à-dire une dose d'exposition au niveau du dosimètre. Comme il s'agit, dans les Centres atomiques, avant tout d'émetteurs de gamma de forte énergie, on peut admettre que la dose au niveau de la poitrine reflète la dose somatique moyenne et que l'irradiation est totale.

Mais une partie de l'irradiation peut provenir de l'absorption de nuclides : des mécanismes de surveillance de la composition de l'air mesurent ce risque et l'on connaît la concentration maximum admissible pour chaque élément, compte-tenu de ses propriétés physiques et de ses affinités biologiques.

En cas d'irradiation partielle, on permet une dose d'exposition plus forte dans certaines limites (8 rems pour la peau et la thyroïde, 20 rems pour les mains et les avant-bras).

c) - Elle laisse croire qu'elle est sans conséquence aucune, puisqu'on la dit "admissible". Selon la formule de base D = 5 (N - 18), un homme pourrait, pendant sa vie professionnelle, subir une irradiation générale de près de 300 rems. Il est préférable de considérer la DMA comme un guide commode pour l'établissement des mesures de sécurité et la surveillance du personnel. C'est dans ce sens que l'ont compris les règlementations nationales : circulaire du Ministère de la Santé (J.O. du 11 Juillet 1957), directives relatives à la population sanitaire de la population arrêtées par la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (J.O.C.E. 2 Février 1959). Ne concernant que les travailleurs atomiques, ces règles vont s'étendre aux radiologues et à leurs manipulateurs.

4) - Enfin, simple mesure de police sanitaire, ces normes laissant volontairement de côté l'irradiation d'origine médicale qui n'entre pas en ligne de compte dans la comptabilité des doses reçues, parce que la discipline du travail s'en trouverait perturbée et que la dosimétrie des rayons X n'atteint pas le même degré de précision que celle des gammas.

Afin de déterminer ces normes, les Commissions Scientifiques ont mesuré l'irradiation moyenne à laquelle les populations étaient soumises. On a ainsi été amené à définir des doses-population.

1 - Le calcul de la dose-moelle osseuse a quelquefois été tenté. En Angleterre, le rayonnement naturel est de l'ordre de 100 mrads/an. Il comprend :

- le rayonnement gamma externe qui varie de 34 à 58 mrads/an, selon le terrain,
- le rayonnement du C^{14}, du K^{40} et cosmique qui s'élève à 43 mrads/an.

2 - La dose-somatique-population moyenne, qui, seule, pourrait renseigner sur les risques généraux, est extrêmement difficile à évaluer : elle est de l'ordre de grandeur de la dose médullaire moyenne par le rayonnement naturel.

3 - La dose-gonades, par contre, a été l'objet de nombreuses déterminations et, à partir d'elles, la dose génétiquement efficace - qui est la dose-gonades de la conception à l'âge de trente ans pour les deux sexes. C'est elle qui, pour l'instant, est le dénominateur commun : en Grande-Bretagne, elle est de l'ordre de 85 à 106 mrads/an du fait du rayonnement naturel, de 1,2 mrads/an en 1955-59, du fait des retombées radio-actives.

3) - La place de la radiologie médicale.

On a tenté de situer la radiologie. Pour des raisons de facilité et aussi parce que les conséquences génétiques sont sans doute plus importantes que les risques somatiques, la dose-gonades et la dose génétiquement efficace ont été mesurées dans différents pays pour la seule radiologie médicale.

La mesure présente des difficultés et des causes d'erreurs. Il faut, en effet, évaluer :

a) - la structure de la consommation radiologique par type d'examen, sexe et classes d'âge,

b) - La dose-gonades moyenne pour ces mêmes catégories, en partant d'un échantillon d'appareils représentatifs de l'ensemble du parc radiologique,

c) - et calculer la dose génétiquement efficace.

Selon les pays, celle-ci varie de 20 à 150 mrads/an. En France (1959), REBOUL l'estime à 20 mrads/an minimum pour le seul radiodiagnostic, examen systématique exclu. En Angleterre (1960), on l'estime à 19,3 mr dont 14,1 mr pour le radiodiagnostic, 0,01 pour le radiodépistage et la radiologie dentaire, 4,5 mr pour la radiothérapie des affections bénignes.

La contribution de la radiologie médicale à la détérioration du patrimoine génétique est donc inférieur au rayonnement naturel, plus vraisemblablement égal au 1/5 de celui-ci.

Cette dose moyenne suppose cependant deux hypothèses :

a) - il n'y a pas de seuil et toute dose, même minime, absorbée par une gonade amène une détérioration proportionnelle au génôme dans son ensemble.

b) - Il y a brassage complet et égal du génôme, les gonades fortement irradiées ayant une espérance génétique égale à celles qui ne le sont pas.

De part et d'autre de ces moyennes, le risque non plus collectif mais individuel, peut se répartir selon une large dispersion.

a) - Certains sujets au cours de leur activité génétique potentielle ne sont pas irradiés et échappent au risque, à la première génération du moins.

b) - D'autres, au contraire, le sont fortement, mais il n'est pas prouvé que leur espérance de procréation ultérieure ne soit pas diminuée, non pas à cause d'une stérilité due à

l'irradiation, mais parce que la maladie qui a motivé les examens radiologiques multiples est susceptible par elle-même de diminuer l'espérance de vie ou l'espérance de procréation.

En ce qui concerne le risque somatique, le calcul des doses moyennes présenterait moins d'intérêt, car la consommation radiologique survient préférentiellement aux âges avancés et souvent à l'occasion de l'affection terminale.

Sous ces réserves, ces doses-population moyennes ont l'intérêt de mieux situer la discussion du risque, car celle-ci est avant tout d'ordre statistique.

B - VALEUR DU RADIODIAGNOSTIC : SON RENDEMENT.

L'intérêt clinique de la radiologie est considérable et il ne saurait être question de se passer de son aide. On peut même tenter de mesurer le bénéfice qu'elle apporte par elle seule pour pouvoir le comparer aux risques qu'on lui attribue. Deux cas sont à considérer selon qu'il s'agit d'un examen motivé par une affection ou d'un dépistage systématique.

1) - L'indication d'un examen radiologique.

En présence d'une affection bien définie ou d'un ensemble de symptômes qui amènent le malade à consulter, elle peut se discuter. Il est rare, statistiquement parlant, que les demandes d'examens témoignent d'une iconolâtrie coupable. En règle générale, l'examen est demandé pour confirmer, retrouver ou éliminer une lésion organique : tout examen radiologique fournit de l'information, ne serait-ce que l'assurance qu'il n'a pas montré d'anomalies. Lorsque, il y a quelques années, une caisse d'assurances sociales a voulu, pour limiter les dépenses radiologiques, soumettre à l'en-

tente préalable les demandes de radiographies gastriques, il se s'est trouvé aucun médecin-conseil pour refuser à un malade donné le bénéfice d'un tel examen. On ne peut pas préjuger, sur la seule clinique, des résultats de la radio : il y a toujours la faible chance de découvrir la lésion inattendue et muette.

Il est facile, en présence de volumineux dossiers radiologiques d'un gros consommateur d'examens radiologiques, de trouver, a posteriori, que l'on aurait pu se dispenser de certains examens : mais dans les circonstances où ils ont été demandés, à un certain stade évolutif de l'affection, personne n'aurait pu prendre la responsabilité de refuser au patient le surcroit de sécurité qu'un examen de surveillance a pu lui offrir.

S'il est facile d'offrir schématiquement les examens faits dans un but diagnostique (premier examen d'une région inexplorée ou nouvelle technique d'exploration d'une région normale à un examen antérieur), et ceux faits dans un but de surveillance (contrôle périodique d'une affection chronique), dans la pratique quotidienne il n'en est pas de même. Nous sommes au contraire tentés de penser, en revoyant des dossiers cliniques, que des documents radiologiques sont souvent trop peu nombreux et que, loin d'exister, ce que avec complaisance on proclame comme abus, il y a dans l'ensemble du pays une sous-consommation radiologique. Dans l'état actuel des possibilités de la science radiologique, un grand nombre d'investigations simples - ou surtout complexes - ne sont pas demandées, qui permettraient des diagnostics de meilleure qualité. Notre niveau de consommation radiologique, par rapport à celui d'autres pays, a montré que l'on était loin de la saturation.

Les moteurs de l'expansion sont multiples :

a) - Implantation de nouveaux appareillages et de nouvelles techniques ; l'installation du tonographe, du sériographe, du radiocinéma, augmente les demandes d'examens, non pas en créant ar-

tificiellement cette consommation, mais en extériorisant une demande potentielle non satisfaite, faute de possibilités;

b) - diffusion des indications radiologiques dans le milieu médical. On pourrait suivre la belle histoire de l'artériographie rénale dans les hypertensions artérielles : 5 à 10 % en sont chez les sujets jeunes dûs à des malformations vasculaires, parfois curables, qu'aucun autre procédé n'aurait pu diagnostiquer (MILLIEZ - FAURE).

En fait, il faut tenir compte de l'équipement en matériel et en personnel existant et, dans le cadre d'une pénurie relative, choisir avec discernement les examens susceptibles d'avoir les plus grandes chances de fournir des informations médicales nouvelles. C'est ainsi que le cliché de débrouillage de grand format, préconisé par de SEZE et DJIAN dans les affections rhumatologiques et qui renseigne sur les régions osseuses les plus susceptibles d'être atteintes (colonne lombaire en entier avec ses disques intervertébraux bien dégagés en postéro-antérieur, sacro-iliaques, branches ischio-pubiennes, hanches) est d'un très grand rendement. Les clichés complémentaires (autres incidences, épreuves dynamiques, techniques spéciales) apportent proportionnellement moins d'informations nouvelles : il y a rendement dégressif des examens au fur et à mesure que l'on les multiplie.

L'interprétation de l'examen entre aussi en ligne de compte dans l'évaluation de ce rendement. Plusieurs facteurs interviennent :

- la physiologie visuelle : l'activité des cônes et des bâtonnets conditionne, tant en scopie qu'en graphie, les possibilités de lecture (TUDDENHAM).

- La subjectivité du radiologue. L'interprétation est toujours relative. On a bien étudié la fréquence des erreurs d'interprétation dans le cas des radios pulmonaires (GOWEN). Les médecins entraînés sont susceptibles de passer à côté de 30 % d'images anormales et de faire 2 % d'erreurs par excès.

Entre deux lecteurs il y a désaccord une fois sur trois et le même médecin est en désaccord avec lui-même une fois sur cinq à une nouvelle lecture. Les pneumologues passent plus souvent à côté des anomalies cardio-vasculaires que le radiologue. Mais cette subjectivité du diagnostic radiologique n'est qu'un cas particulier de l'interprétation des signes médicaux : on a retrouvé les mêmes désaccords sur l'interprétation des dosages, d'électrocardiogrammes, d'hénogrammes, ou d'effets des thérapeutiques (GARLAND).

2) - Les examens systématiques : la radiodépistage.

L'examen systématique des poumons d'une population saine fournit la possibilité de mesurer exactement le rendement de l'examen radiologique, en mettant en parallèle le risque radiologique et l'avantage médical procuré.

a) - L'enquête britannique (1957) a montré que, malgré la diminution de la morbidité tuberculeuse, les avantages l'emportent de beaucoup sur les inconvénients.

4.780.000 radiophotos ont permis de découvrir 17.800 cas de tuberculose nécessitant un traitement, 63.000 anomalies dont 2.362 cancers du poumon, 9.600 pneumoconioses et 12.000 cardiopathies. En regard, les risques ont été faibles : 0,2 mrad aux gonades chez l'homme, 0,3 mrad chez la femme et, pour l'ensemble de la population, moins de 1 pour 1.000 du rayonnement naturel. En admettant que l'on puisse, par extrapolation, calculer le nombre de leucémies qui en résulterait, celui-ci serait de 20 par an, si tous les ans le même nombre d'examens de dépistage était effectué, alors que le nombre total des leucoses est de 2.500 par an ; mais il est aussi possible qu'aucune leucose supplémentaire ne soit induite. Pour une population ayant subi dix examens de dépistage (en radiophoto), le risque des leucémies passerait de 50 à 51 pour un million et par an.

b) - Aux Etats-Unis, WEBSTER a abordé le problème de façon différente. ENTERLINE avait comparé la mortalité de deux groupes de sujets : les uns dont l'affection avait été découverte lors d'examens systématiques, et les autres dont l'affection n'avait pas été reconnue au cours de ces examens, il chiffre les gains et les pertes en les exprimant par année de vie gagnée ou perdue. Le bénéfice (tuberculoses pulmonaires et affections cardio-vasculaires) représente 150.000 années de vie pour 20 millions d'examens systématiques. Les doses peuvent être très différentes selon l'appareillage utilisé, il considère pour évaluer les risques deux cas extrêmes : avec une bonne technique, les pertes (dues aux lésions génétiques et somatiques) sont négligeables , de moins de 1.000 années de vie, avec un mauvais appareillage et un faisceau mal diaphragmé, les pertes sont au contraire presque égales au gain et atteignent 144.000 années de vie. Malgré le caractère aléatoire de ces calculs, ceux-ci ont l'avantage de mettre l'accent sur l'importance des facteurs techniques.

c) - Dans l'ensemble, le rendement du radiodépistage pulmonaire est à peu près le même dans les pays développés.

D'autres enquêtes anglaises (GOLDMAN) l'estiment à 1,6 à 3,6 pour 1.000 cas de tuberculose et 0,36 à 0,56 cas de cancer du poumon. Mais si le nombre de cancers dépistés au stade préclinique est faible, leur survie est meilleure que celle des cancers évolués, diagnostiqués autrement (HANDY).

d) - En milieu scolaire, dans les régions du Nord, GERNEZ-RIEUX a dépisté 495 anomalies cardio-vasculaires (dont les 3/4 étaient méconnus) au cours de 305.300 radiophotographies, soit 1,6 pour 1.000.

En milieu universitaire, le taux de dépistage de la tuberculose baisse rapidement (7 pour 1.000 en 1946), mais il reste encore à 2,6 pour 1.000 en 1955.

La valeur de ce dépistage a récemment été mise en cause en France. Sous prétexte que 2 à 4 anomalies sur 1.000 seulement étaient retenues, on a dit que 996 sujets étaient inutilement irradiés. Une telle forme de raisonnement est sommaire et oublie que l'information, même négative, a la même valeur médicale et se paye, en irradiation, au même prix. A la suite de cette campagne, le radiodépistage scolaire a été supprimé, puis réservé aux seuls enfants ayant une cuti positive (oubliant que la majorité des anomalies rencontrées ne sont pas dues à la tuberculose) : il est en train d'être rétabli complètement, mais l'alerte aura permis de substituer à la radioscopie la radiophotographie.

e) - D'autres examens de dépistage ont été tentés dans des groupes de population particuliers : radiopelvimétrie systématique au 8ème mois de la grossesse qui diminue la fréquence des césariennes (MAYER), dépistage de la luxation congénitale de la hanche par la manoeuvre d'Ortolani, aussi bien que par la radiographie systématique (BUREAU).

"Il faut faire chez tout enfant présentant une anomalie quelconque de la démarche, une radiographie des deux hanches. Les déformations du pied et du genou sont cliniques ; la vue et le palper ne laisseront rien échapper de sérieux. Les déformations de la hanche sont radiologiques : seul un cliché pernet de juger de l'intégrité ou de la luxation" (G. LAURENCE).

Or, ces examens sont réputés dangereux et ont été mis en cause : un temps d'arrêt est, de ce fait, marqué dans le développement de ces campagnes de dépistage. Le risque radiologique étant nul, lorsque les précautions sont prises, on peut, ce moment d'émoi passé, préconiser à nouveau de telles pratiques, car leur rendement est élevé : 3 pour 1.000 de luxations congénitales en France, 15 pour 1.000 dans certaines régions.

f) - En France, de nombreuses couches de la population échappent encore au radiodépistage pulmonaire systématique. En dehors du

milieu scolaire, militaire et du travail, des états prénataux, il n'existe guère de dépistage des anomalies thoraciques surtout aux âges avancés où elles deviennent très fréquentes. Le développement des examens systématiques, dits de santé, avec radiologie des poumons est à encourager, plus fréquemment même que tous les cinq ans, et dans toutes les couches de la société.

Les renseignements fournis par la radiologie bien conduite sont donc hors de proportion avec les risques éventuels qu'on leur attribue. Ces risques sont, de plus, négligeables par rapport à d'autres risques médicaux que l'on est amené à prendre.

C - RISQUES MEDICAUX ET RISQUES DE LA VIE MODERNE.

1) - Les risques thérapeutiques.

Tout acte médical comporte un risque, plus ou moins marqué selon qu'il s'agit d'un acte diagnostique ou thérapeutique et selon l'état du malade, et le médecin doit constamment peser le pour et le contre dans ses décisions.

Une épreuve diagnostique, telle une simple prise de sang ou un électrocardiogramme après effort, peuvent comporter des risques mortels.

Tous les médicaments peuvent présenter des effets latéraux désagréables ou nocifs et le terme de maladie thérapeutique (CONTE) désigne cette pathologie nouvelle née de la découverte et de la diffusion très rapide des drogues modernes.

Plusieurs cas sont à envisager :

- Certains médicaments sont dangereux par eux-mêmes et connus comme tels, même à des doses raisonnables. Aussi l'emploi en est-il

mesuré : les corticoïdes et leur risque digestif, le Chloramphénicol et le Pyramidon et leur toxicité hématologique.

- D'autres créent des effets nocifs à trop fortes doses : vitamine D par exemple.
- Certains sont nocifs chez l'enfant, telle la Théophylline. Le nourrisson et le nouveau-né présentent une sensibilité particulière à toutes les drogues, notamment les antibiotiques et la vitamine K.
- Le risque des thérapeutiques chez la femme enceinte est connu : des accouchements prématurés et des malformations congénitales peuvent succéder à certains traitements hormonaux, aux sulfamides hypoglycémiants et aux tranquillisants (Thalidomide).

L'injection par elle-même a sa pathologie, qu'elle soit intra-musculaire ou intra-veineuse, unique ou prolongée. La technique, l'asepsie, le produit, son solvant et ses pyrogènes interviennent pour expliquer les accidents les plus variés, allant de la mort subite à la nécrose cutanée.

Les risques dûs aux opacifiants et le risque dû aux radiations chez l'embryon et la femme enceinte se voient justement dans des circonstances où les autres thérapeutiques présentent un risque plus grand. Cependant, ce risque est toujours pris par le médecin, en connaissance de cause, et il est donc justifié d'autant plus qu'il ne paraît pas, statistiquement parlant, plus important que celui imputable au choc opératoire, à l'anesthésie, à l'accouchement ou aux transfusions.

"Déterminer la balance exacte entre l'utilité et le risque est en définitive un problème de conscience médicale, mais d'une conscience que des informations précises auront préalablement éclairée" (J.-J. GILLON et J.-J. BERNIER).

2) - <u>Les risques de la vie moderne</u>.

Il est bon de situer le risque thérapeutique en général

et le risque radiologique en particulier, par rapport aux risques de la vie moderne que la société juge acceptables.

Aux 2.500 leucoses décédées annuellement en France (dont une faible proportion peut être imputable statistiquement aux radiations), on peut opposer les 2.000 accidents du travail et les 9.000 accidents de la route.

On doit aussi évaluer les nuisances du milieu ambiant que l'on accepte comme raisonnables dans la vie moderne, parmi lesquelles le risque cancérigène dû au tabac, aux pollutions atmosphériques, aux produits introduits dans l'alimentation.

On doit aussi comparer la mortalité imputable aux examens radiologiques à la mortalité générale dont l'étiologie est encore indéterminée et ne semble rien devoir aux radiations : les accidents dans l'enfance, le cancer et les accidents chez l'adulte, les cardiopathies et le cancer chez l'adulte âgé, les cardiopathies plus tard restent de loin au premier rang.

Le cas des malformations congénitales est plus complexe : leur fréquence est relativement grande : de 1 à 1,5 % à la naissance, 4 à 5 % si on observe jusqu'à l'âge de un an. Elles représentent dans les pays développés de 15 à 20 % des causes de décès chez le nourrisson et 80 % des décès par malformations survenant avant l'âge de un an.

En dehors de quelques cas privilégiés (rubéole, toxoplasmose, avitaminose, thalidomide), leur étiologie est inconnue : le milieu ambiant doit intervenir aussi bien avant qu'après la conception. Les radiations ont un effet mutogène certain et le vrai risque radiologique est couru, par les générations à venir. EHRENBERG a cependant montré que le simple fait de porter des pantalons élevait la température des gonades mâles de 3,3°, c'est-à-dire risquait d'augmenter la fréquence des mutations spontanées de 83 %, ce qui correspondrait aux effets d'une dose de radiation de 40 rads. Dans l'ignorance où

nous sommes du risque exact couru, la prudence conseille de maintenir l'irradiation du génôme à son niveau le plus bas : nous avons vu que avec quelques précautions et améliorations techniques aisées à observer, cela était possible.

D - AUTRES ASPECTS DU RISQUE RADIOLOGIQUE.

1) - Aspect juridique.

La responsabilité du médecin peut être engagée en présence d'un accident lié aux radiations. Les tribunaux ont condanné des radiologues essentiellement pour des radiodermites secondaires à la radiothérapie d'affections bénignes, telle la verrue plantaire, en estimant la responsabilité du praticien engagée lorsque l'appareillage était désuet, la filtration osseuse et la dosimétrie non faites. Toutes ces condamnations survenues entre 1920 et 1950 sont exceptionnelles depuis, (RICHE).

Nous avons relevé deux jugements condamnant le médecin à la suite de nécrose cutanée, à la suite d'injection de ténébryl et d'acetiodone. Des affaires concernant une aggravation de la claudication à la suite d'artériographies n'ont pu faire engager la responsabilité du médecin.

La relation de cause à effet est des plus difficile à établir : seules les radiodermites et certaines fautes graves lors de l'injection du contraste peuvent être sanctionnées. Une radioleucose ou une malformation ne saurait être attribuée avec certitude aux radiations lorsque celles-ci ont été absorbées à faibles doses : le cas s'est posé récemment pour l'anémie gravidique d'une employée du Centre Atonique de Saclay, non exposée aux radiations et HAMMER-JACOBSEN a rapporté le cas d'un avortement au 5ème mois d'un anencéphale chez une technicienne d'un laboratoire d'isotopes, dont le foetus n'avait pas été exposé à plus de 0,03 r, et qu'il faut donc considérer comme une coïncidence toujours possible.

Le fait que certains tribunaux condamnent des administrations à dédommager, en cas de doute, leurs employés, n'a pas la valeur d'une démonstration scientifique.

Mais dans le cas de l'exposition de malade au cours du radiodiagnostic, la responsabilité du médecin ne saurait être engagée et le tribunal de Carcassonne (3 Mai 1962) a eu raison de condamner une institutrice qui refusait de se laisser radiographier les poumons lors de la visite systématique annuelle, prétextant du danger des radiations.

2) - Aspect professionnel.

L'aspect collectif de l'irradiation doit faire envisager l'activité radiologique dans son ensemble et, en particulier, l'état du parc radiologique. De son rythme de rajeunissement dépend la réduction des doses reçues par le malade.

a) - La nomenclature des actes radiologiques peut avoir une conséquence sur le niveau de consommation radiologique. L'institution d'un plafond pour les examens viscéraux (estomac surtout) tend à diminuer le nombre des radiographies effectuées et peut-être comme corollaire, à augmenter la durée de la radioscopie. La suppression du cumul C et R2 a sans doute diminué le nombre des radioscopies effectuées par le praticien : son rétablissement, à condition qu'un compte-rendu écrit soit fourni, est un compromis intelligent.

L'existence de conventions particulières favorisant le remboursement des radiologistes qualifiés, comme c'est le cas dans la Seine, contribue à augmenter le rendement des examens.

b) - La surveillance des installations.

La mise en place de mesures de surveillance de l'appareillage va accélérer le renouvellement du parc.

- L'arrêté du 27 Juin 1952 a défini les normes techniques auxquelles le matériel devait répondre pour pouvoir être acheté par une collectivité publique (norme 74-100). L'industrie radiologique n'a plus fabriqué depuis que des appareils conformes, mais des appareils anciens restaient en service sans révision dans les hôpitaux et dispensaires publics.

- L'arrêté du 9 Avril 1962 rend obligatoire l'agrément de toutes les installations radiologiques à usage médical. Après un délai transitoire d'un à deux ans pour les installations non conformes encore en fonctionnement, on verra tous les appareils désuets condamnés au rebut.

Il aura fallu dix ans pour que la nocivité due à la désuétude de l'appareillage disparaisse.

D'autres mesures devront encore être prises (filtration supplémentaire, appareil de collimation, etc...). Le recensement du parc radiologique mettra en évidence les plus urgentes.

3) - Aspect économique.

On pourrait évaluer le coût du dépistage radiologique et celui de son rendement : cela a été tenté récemment à propos de la prévention des accidents de la route (ABRAHAM et THEDDIEE) et l'extrapolation à la mesure du prix d'une vie humaine a été justement critiquée (PEQUIGNOT et RÖSCH). Il faudrait posséder une meilleure information statistique sur la consommation radiologique, le parc des appareils et leur activité. Un problème simple peut néannoins être posé. Le coût (théorique) d'une radioscopie pulmonaire et d'une radiographie sont, d'après la nomenclature, dans le rapport de 2 à 11. Le rapport des irradiations est d'environ 10 à 1 et celui des qualités de l'information peut être de 100 à 1. La radioscopie coûte cinq fois moins cher, mais son rendement exprimé par le rapport information/irradiation est cent fois moindre. Elle a cependant le

mérite d'exister et de tenir lieu de radiographie du pauvre en attendant que le niveau économique de la Nation ait permis la substitution des appareillages et des techniques modernes aux appareils et aux techniques anciennes. La diminution du risque radiologique en sera la conséquence et impose un gros effort d'investissement.

CONCLUSION : INFORMER ET RASSURER.

Le risque radiologique est négligeable et justifié et il est possible de le restreindre encore. Cela est possible à deux conditions :

a) - que le corps médical, spécialisé ou non, soit informé (REBOUL et DELORME, TUBIANA) des indications de la radiologie et des améliorations techniques.

b) - Que le public soit rassuré, ne confonde pas en une même crainte l'explosion atomique et l'appareil de radiographie et fasse confiance à son médecin qui, en dernier recours, reste le seul responsable.

C O N C L U S I O N S

Tous les examens radiologiques présentent un risque :

Le risque somatique dû aux radiations ionisantes (certaines leucoses et certains cancers) paraît statistiquement démontré lorsque l'irradiation a été importante (radiothérapie) mais fait encore l'objet de discussions lorsque la dose de radiation absorbée par les tissus est faible, ce qui est le cas du radiodiagnostic.

Le risque de mutation génétique n'est pas non plus certain à ces faibles doses, mais les conséquences lointaines sur les générations à venir recommandent de maintenir au niveau le plus bas l'irradiation des gonades.

La protection du malade est techniquement possible grâce à l'amélioration de l'appareillage.

Le risque le plus grand semble lié à l'emploi des agents de contraste, mais certains des accidents graves sont d'interprétation difficile.

Le radiodiagnostic a connu un essor remarquable depuis une dizaine d'années et son expansion doit se poursuivre. Mais le rendement de l'examen radiologique en information médicale augmente plus rapidement, si bien que la part du radiodiagnostic dans l'irradiation du soma et du germen de la population va diminuer.

La dose de radiation absorbée par le génôme de la population et provenant du radiodiagnostic est inférieure à celle qui est délivrée par l'irradiation naturelle.

Le risque radiologique est, dans l'ensemble, bien moins grand que celui créé par les thérapeutiques et tous les risques de la vie moderne.

On doit néanmoins s'efforcer de le réduire au maximum, en posant bien les indications de l'investigation radiologique et en réalisant celle-ci avec une bonne technique.

ENQUETE EN COURS SUR LE DEVENIR DES ENFANTS AYANT SUBI DES EXAMENS RADIOLOGIQUES IMPORTANTS

I - LE BUT DE L'ENQUETE en cours est double :

a) - Etudier la fréquence des examens radiologiques importants (urographie, pyélographie, abdomen sans préparation, oesophage, estomac, grêle, colon) selon l'âge et le sexe et estimer rétrospectivement les doses des radiations qui ont pu être absorbées en fonction des techniques employées.

b) - Suivre les enfants ainsi examinés et, en particulier, la survenue éventuelle d'hémopathies et de tumeurs.

Cette enquête ayant fait l'objet d'un contrat de recherche entre le Service de Radiologie de l'Hôpital des Enfants-Malades, le Commissariat à l'Energie Atomique et l'Institut National d'Hygiène, se déroule en collaboration avec les services de radiologie des hôpitaux d'enfants de Paris et de Lyon.

Environ 40.000 examens radiologiques ont été retrouvés dans les hôpitaux suivants :

- Enfants-Malades depuis Juin 1953
- Bretonneau " Décembre 1957
- Trousseau " Janvier 1955
- Hérold Mai 1953
- St-Vincent-de-Paul " Janvier 1956
- Debrousse et Grange-Blanche (Service de Radiopédiatrie).

Ces examens ont été relevés jusqu'au 31 Décembre 1961.

II - LES SOURCES D'INFORMATION sont les suivantes :

a) - Les registres quotidiens des services de radiologie,

b) - Les registres d'admission dans les hôpitaux.
Jusqu'à présent seules ces deux sources ont été employées de manière à fournir le maximum de renseignements au moindre coût.

c) - Les cahiers ou fiches de compte-rendu conservées dans les services de radiologie.

d) - Les observations cliniques des services hospitaliers.

Ces deux dernières sources n'ont pas encore été employées. Elles le seront éventuellement en fonction des nécessités de l'enquête.

III - DEROULEMENT GENERAL DE L'ENQUETE.

Cette enquête se fait essentiellement sur dossiers, à l'insu des familles. Jusqu'à présent, les chefs des services de radiologie (MM. ARVAY, BERAUD, DUCHAMP, LEBOUCHARD, LEFEBVRE et SAUVEGRAIN) ont collaboré à cette enquête en fournissant leurs archives.

L'administration a facilité les recherches sur les registres d'admission.

Tous les chefs de service d'hospitalisation et des consultations recevront la liste nominative des malades retenus dans l'enquête ayant été soignés par eux, et recevront périodiquement un compte-rendu de l'état général d'avancement des travaux. Il pourra leur être demandé d'avoir accès aux dossiers cliniques qu'ils détiennent et, dans certains cas, de convoquer

les malades. Mais à aucun moment un enfant ne sera convoqué ou examiné directement par les services de radiologie.

Chaque année, les examens importants pratiqués l'année précédente seront introduits dans l'enquête. Celle-ci doit suivre les enfants pendant de très nombreuses années.

Il était en effet de la plus grande importance de recueillir dans un fichier central tous les enfants.

Le mécanisme automatique de surveillance des décès est mis en place grâce à l'Institut National de la Statistique (INSEE) par l'intermédiaire de l'I.N.H. (Service de Statistique Mr SCHWARTZ). Tous les enfants dont on connaît la date et le lieu de naissance peuvent être repérés par le service d'identification et leur décès automatiquement signalé.

Ces décès qui, pour la plupart, seront survenus à distance de l'hospitalisation seront communiqués à tous les services cliniques par l'intermédiaire des services de radiologie. La cause du décès n'est pas indiquée, mais il pourra être utile pour tous de mettre un point final aux dossiers et, éventuellement, d'en rechercher la cause par enquête directe auprès des parents.

Un travail préliminaire sur la fréquence de ces examens en fonction de l'âge, le nombre de films et de poses radiographiques en fonction du type d'examen est en cours d'exploitation mécanographique. Il porte sur les 15.887 examens effectués aux Enfants-Malades et à Bretonneau. Il sera présenté au Xe Congrès de Radiologie de Montréal (Septembre 1962).

IV - LE DEROULEMENT ULTERIEUR DE L'ENQUETE.

Il comprendra les étapes suivantes :

1) - Exploitation complète de la totalité des examens effectués dans les sept hôpitaux intéressés (début 1963).

2) - Constitution de dossiers individuels regroupant les divers examens subis par le même enfant (1963).

3) - Surveillance de ces enfants (1963-1970).

1) - Le recueil des examens radiologiques importants.

Une fiche a été constituée pour chaque examen, contenant les renseignements suivants :

Nom, prénom (donc sexe), date de l'examen, salle et chef de Service demandeur de l'examen, nombre et format des films consommés, nombre de poses, durée du radiocinéma. Les dates de naissance, notées par les Services de radiologie de Bretonneau et des Enfants-Malades, seront ultérieurement marquées pour les autres hôpitaux.

Les doses de radiation absorbées seront estimées rétrospectivement, en moyenne, pour chaque catégorie d'examen en fonction de la durée moyenne de la radioscopie et du débit des appareils existant (avec et sans amplificateur de brillance).

2) - La constitution des dossiers individuels.

Un dossier est constitué pour chaque enfant dont on a retrouvé avec certitude l'état-civil : date et lieu de naissance, c'est-à-dire pour la totalité des enfants hospitalisés nés en France. Seuls, ces enfants pourront être suivis par l'INSEE. Il y a lieu de prévoir 10 à 15.000 dossiers individuels qui seront conservés, en principe, dans chaque service de radiologie.

Ces dossiers pourront contenir les fiches d'examens et tous les documents ultérieurs : compte-rendus radiologiques, résumés des observations, total des doses absorbées.

Ces dossiers seront exploités pour connaître la répartition des enfants en fonction de l'affection, du nombre d'examens, de l'âge et de la dose de radiation.

On pourra alors distinguer plusieurs populations selon l'importance potentielle du risque auquel ils auront été soumis du fait du radiodiagnostic.

3) - La surveillance des enfants.

Une carte répertoire est constituée pour chaque enfant. La centralisation de ces cartes permettra de retrouver les enfants hospitalisés dans plusieurs établissements.

Un exemplaire de chaque carte sera envoyé à l'INSEE pour la surveillance des décès.

Un exemplaire sur papillon collant sera donné à chaque service pour être apposé sur le dossier médical de l'enfant et rappeler qu'il fait l'objet d'une surveillance.

Le listage imprimé, classé par ordre alphabétique, date de naissance et date d'hospitalisation des enfants surveillés sera aussi envoyé à chacun des services où ils auront été hospitalisés.

La liste des enfants suivis sera aussi envoyée aux services d'hématologie, de chirurgie infantile et aux centres anticancéreux.

Vu, le Président de Thèse,
Professeur J. BERNARD

Vu, le Doyen de la Faculté,
Professeur L. BINET

Vu et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris

J. ROCHE

BIBLIOGRAPHIE

Limitée aux articles récents de langue française et anglaise, à quelques articles allemands, publiées dans les revues de radiologie médicale et les revues médicales courantes et plus spécialement :

- J. Radiol : Journal de Radiologie, d'Electrologie et de Médecine nucléaire (Masson).
- Ann. Radiol : Annales de Radiologie (Semaine des Hôpitaux).
- Acta Radiologica.
- Am. J. Roentgen : American Journal of Roentgenlogy and Nuclear Medicine.
- Brit. J. Rad. : British Journal of Radiology.
- Clin. Radiol. : Clinical Radiology (ex. Journal of the Facults of Radiology : J. Fac. Radiol.).
- J. Can. Ass. Radiol. : Journal of the Canadian Association of Radiologists.
- Radiology : Radiology.

Les références des travaux consultés sont regroupées dans les chapitres suivants :

I - Généralités sur le risque radiologique,

II - La consommation radiologique

III - Problèmes de dosimétrie,

IV - Leucoses et radiations

V - Le risque somatique : radiocancers et autres conséquences

VI - Le risque génétique

VII - La réduction de l'irradiation

VIII - Accidents liés aux produits de contraste

IX - Du risque médical.

I - GENERALITES SUR LE RISQUE RADIOLOGIQUE

1 - Colloque de Montpellier - Irradiation naturelle et artificielle de l'homme, Montpellier, avril 1962.

2 - Conférence scientifique sur les dangers atomiques. Paris (Juillet 55) in Pathol. et Biol., Sem. Hôp. Paris, 1956, 3 avril.

3 - Committee on genetic effects of atomic radiations. Science, 1956, 123, 619.

4 - ICRP - ICRU - Exposure of man to ionizing radiations arising from medical procedures (1958).

5 - Medical Research Council - The hazards to man of nuclear and allied radiations. M.M. Stationery office = Cml 9780, London 1956.

6 - Medical Research Council - The hazards to man of nuclear and allied radiations : a second report to the Medical Research Council. H.M. Stationery office. Cmnd 1225, London 1960.

7 - O.M.S. - Effet des radiations sur l'hérédité humaine, Genève 1957.

8 - O.M.S. - Question de santé mentale que pose l'utilisation de l'énergie atomique à des fins scientifiques. Rapport n° 151, Genève 1958.

9 - O.M.S. - La surveillance médicale du personnel professionnellement exposé aux radiations. Rapport n° 196, Genève 1960.

10 - O.N.U. - Actes de la Conférence Internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. Volume XIII, ONU Genève 1956.

11 - O.N.U. - La responsabilité du corps médical dans l'emploi des rayons X et autres rayonnements ionisants. (Déclaration du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes).
Presse Méd. 1957, 65, 415-416.

12 - O.N.U. - Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes.
Assemblée générale, 13ème session, n° 17 A/3838, New York 1958.

13 - Proceedings of the X International Congress of Genetics.
University of Toronto Press - 1959, 2 vol.

14 - U.S.A. National Ac. Sciences - Nat. Research Council - The biological effects of atomic radiations. Washington 1956.

15 - GENAUD P. - L'homme et les radiations. - Le médecin de réserve 1961, 57, 137, 148.

16 - HODGES P.C. -
The radiologist look at radiation hazards.
Radiology 1959, 72, 481-488.

17 - KAPLAN H.S. -
An evaluation of the somatic and genetic hazards of the medical uses of radiations.
Am. J. Roentg., 1958, 80, 696-706.

18 - POWELL, Clinton C. -
The government looks at radiation hazards -
Radiology, 1959, 172, 489-492.

19 - QUIMBY E.M. -
Radiation hazards and what is being done about them. A symposium.
Am. J. Roentg., 1957, 78, 944-945.

20 - SAUVEGRAIN J., SERRA R. -
La protection du radiologiste et de son malade en radio-diagnostic
Concours Med. 1957, 79, 4959.

21 - TUBIANA M. -
Danger des radiations ionisantes.
Rev. Ens. Sup. 1958, 111-123.

22 - TUBIANA M. et LAUGIER A. -
Les examens radiologiques présentent-ils un risque ?
Rev. Fse et Clin. et Biol. 1959, 4, 987-995.

II - LA CONSOMMATION RADIOLOGIQUE

1 - Assistance Publique à Paris - Renseignements communiqués par le service de Statistiques médicales, le service économique et la Pharmacie centrale des Hôpitaux.

2 - Nomenclature générale des Actes professionnels - Journal officiel 5 juillet, 1960.
Rev. Prat. Supplt. 21 Juillet 1960
Conc. Med. supplt. 12 Mai 1962.

3 - Graduate Medical Education in the United States : Internship and Residency Number
J.A.M.A. 1952, 150, 275-417
1956, 162, 277-411,
1958, 168, 521-692
1960, 174, 570-813.

4 - BIAGINI C., BARILLA, M., MONTANARA, A., MESSE, G., PAGLICCIA, PISARIA M. Inchiesta sulla possibile "dose alle gonadi" ricevuta dalla popolazione di Roma a segnita dell'impiego dei raggi X nella diagnostica medica. Radiologica Medica, 1960, 46, 757-783.

5 - BLATZ H. -
A comprehensive radiation control program in New York City, Radiology, 1960, 74, 474-479.

6 - BROWN R.F. HESLE P.J. and EADS W. -
Number and distribution of roentgenologic examinations for 100.000 people.
Radiology, 1960, 74, 353-363.

7 - CHASSERANT M. -
Une enquête sur le budget des familles médicales.
Conc. Med., 1961, 83, 6799-6806.

8 - CSAKANY G., VITTAY P., VOLNIG und BARSI G. -
Medizinische strahleubelastung der Bevölkerung von Budapest in fabre 1958, Strahlentherapie 1960, 112, 476-480.

9 - GERNEZ-RIEUX Ch., and BONTE G. -
Committee on radiology and mass radiography.
Program of an investigation into the amount of irradiation received by population groups submitted to mass X-ray examination of the chest.
Bull. Int. Un. Tuberc. 1959, 29, 100-106.

10 - HOLTHUSEN M., LEETZ H.K. und LEPPIN W. -
Die genetische Belastung der Bevolkerung einer grossstadt (Hamburg) ; durch medizinische Strahlenanwendung.
Gersbach Verlag München 1961.

11 - LARSSON L.E. -
Radiation doses to the gonades of patients in swedish roentgen diagnostics
Acta Radiol. 1958, suppl. 157.

12 - LILIENFELD A.M. -
Diagnostic and therapeutic X-radiation in an urban population.
Pub. Health Rep. 1959, 74, 29-35

13 - MARTIN J.H. -
An estimate of the potential leukaemogenic factor in the diagnostic use of X rays. Med. J. Australia. 1958, 2, 157-158.

14 - NORWOOD W.D. -
Common sense approach to the problem of genetic hazard due to diagnostic radiology - Report based in part on study of exposures in a small american industrial City.
J.A.M.A. 1958, 167, 1928-1935.

15 - NORWOOD W.D., HEALY J.W., DONALDSON E.E., ROESCH W.C., and KIRKLIN C.W.
The gonadal radiation dose received by the people of a small american city due to the diagnostic use of roentgen rays.
Amer. Roentgenol. 1959, 82, 1081-1091.

16 - REBOUL J., TAVERNIER J., DELORME G., ISTIN Y. et SORIN J. -
Doses gonades résultant de l'utilisation des radiations ionisantes en France.
Ann. Radiol. 1959, 2, (3/4) 179-196 et 195I 2 (7/8) 571-584.

17 - REMPP J.M. -
Premiers résultats d'une enquête sur les dépenses de santé.
Etudes statistiques, 1962, 13, 71-97.

18 - ROSCH G. -
La consommation radiologique - Sem. Hôp. Paris (S. Med. Prof. Med. Soc.) 1960, 36, 237-243.

19 - ROSCH G., REMPP J.M. et MAGDELAINE M. -
Une enquête par sondage sur la consommation médicale - Consommation, 1962, 9, 3-84.

20 - SCHAR M., MINDER W., ZUPPINGER A. -
Die Belastung des Menschen durch ionisierende strahlen : Umfang der Röntgendiagnostik in der Schweiz.
Praxis 1960, 49, 779-785.

21 - SEELENTAG W. -
Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender strahlen in der Medizin.
Strahlenth. 104 (1957) 182 : 105 (1958) 169 ; 107 (1958) 337, 537.

III - PROBLEMES DE DOSIMETRIE

I - PHYSIQUE DU RADIO-DIAGNOSTIC.

A - GENERALITES.

1 - ALLISY, A. -
La mesure des doses de rayons X ou γ à l'aide d'émulsions photographiques.
J. Radiol. 1955, 37, 249-252.

2 - ALLISY, A. -
Concept et mesure de la dose d'exposition/
Ann. Radiol., 1958, 1, 687-699.

3 - ALLISY, A. et ASTIER, A. -
Détermination du rapport dose-absorbée/ dose d'exposition dans l'os et le muscle par la méthode des gaz équivalents. Principe de la méthode et résultats préliminaires.
J. Radiol. 1958, 39, 340-344.

4 - ALLISY, A., de la VERGNE and WYCKOFF, H.O. -
Intercomparison of french and U.S. roentgen ray standards.
Acta Radiol., 1957, 48, 484-492.

5 - ALLISY, A. and ROUX, A.M. -
Contribution to the measurement of roentgen rays in the 5 to 50 kv. range.
Acta Radiol., 1961, 55, 57-74.

6 - ASTIER, A. et ALLISY, A.
Quelques données récentes sur la conversion roentgen-rad dans l'os et la muscle.
J. Radiol., 1959, 40, 379-384.

7 - BIERMAN, A. and BOLDINGH, W.H.
The relation between tension and exposure times in radiography.
Acta Radiol., 1951, 35, 22-26.

8 - CEN, M. and FRIK, W.
Raumdosis und Keimdrüsendosis bei verschiedenen Strahlenqualitaten in der Röntgendiagnostik.
Fortschr - Röntgenstr., 1958, 88, 465.

9 - COLIEZ, R.,
Compte-rendu du Congrès de Mexico.
J. Radiol., 1957, 38, 1088.

10 - CORMACK, D.V. -
A comparison of theoretical and experimental spectral distribution of scattered X-rays.
J. Can. Ass. Radiol., 1960, 11, 40-43.

11 - CORMACK, D.V., BURKE, C.G., and DAVITT, W.E.
Spectral distributions of 140 kvp X rays.
Radiology, 1958, 70, 91.

12 - CORMACK, D.V., GRIFFITH, T.J. and JOHNS, H.E. -
Measurement of the spectral distribution of scattered 400 kvp X rays in a water phamtom.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 129.

13 - CORMACK, D.V., TILL, J.E., WHITMORE, G.F., and JOHNS, H.S. -
Measurement of continuous X ray spectra with a scintillation spectrometer.
Brit. J. Radiol. 1955, 28, 605-609.

14 - FLATBY, J. and MANDAL, S. -
Some measurements of scattered radiation from roentgen diagnostic beams.
Act. Radiol., 1956, 46, 690-694.

15 - GARRETT, R., TANUSZ, O., NEURK, M.L., LAUGHLIN, J.S. and SHERMAN, R.S. -
Dose measurement technics for diagnostic procedure.
Radiology, 1958, 71, 216-324.

16 - HALE J., KUSNER, D.B., GORSON, R.O. and BARTSCH, J.R. -
Radiation safety evaluation of fluoroscopes.
Radiology, 1956, 71, 249-254.

17 - HAYBITTLE, J.L. -
The effect of field size on the dose to the patient in diagnostic radiology.
Brit. J. Radiol., I957, 30, 663-665.

18 - HETTINGER, G. -
Angular and spectral distribution of backscatter radiation from slabs of water, brass and lead irradiated by photons between 50 and 250 kw.
Acta Radiol., 1960, 54, 129-152.

19 - HETTINGER, G. and LIDEN, H. -
Scattered radiation in a water phantom irradiated by roentgen photons between 50 and 250 kV.
Acta Radiol., 1960, 53, 73.

20 - HETTINGER, G. and STARFELT, N. -
Bremsstrahlung spectra from roentgen tubes.
Acta Radiol., 1958, 50, 381-394.

21 - ICRU -
Recommandations lors du 7ème Congrès International de Radiologie. Copenhague Juillet 1953.
Brit. J. Radiol., 1954, 27, 243.

22 - JOHNS, H.E., BRUCE, W.R. et REID, W.B. -
The dependance of depth dose on focal skin distance.
Brit. J. Radiol., 1958, 31, 254-260.

23 - KEANE, B.E. and SPIEGLER, G. -
Stray radiation from diagnostic X ray beams.
Brit. J. Radiol., 1951, 24, 198-203.

24 - LINDELL, B. -
Secondary roentgen radiation.
Acta Radiol., 1954, 41, 353-376.

25 - MARTIN, J.H., and EVANS, A. -
Radiation outside the definedfield.
Brit. J. Radiol., 1959, 32, 7, 11.

26 - MATTSON, O. -
Pratical problems in radiography.
Acta Radiol., 1955, suppl. n° 120.

27 - MORGAN, R.H. -
The performance of screen intensification and cinefluorographic system.
Am. J. Roentgen., 1961, 86, 1027-1032.

28 - REINSMA, K. -
The interent filtration of X-ray tubes.
Radiology, 1960, 74, 971-972.

29 - SANDERS, A.-P., SHARPE, K. CAHOON, J.B., REEVES, R.J., ISLEY, J.K. and BAYLIN, G.J. -
Radiation dose to the skin in roentgen diagnostic procedures. Optium KVP. and tissue measurement techniques.
Am. J. Roentgen., 1960, 84, 359-368.

30 - SEELENTAG, W. -
Strahlendosis und dosiseinheiten.
Deuts Med. Woch., 1961, 86, 2542-2546.

31 - SEELENTAG, W. und KLOTZ, E. -
Die strenstrahlung im Körper bei Strahlenqualitäten von 50 bis 200 kv Ergongerspannung.
Strahlent., 1959, 108, 112-126.

32 - SORRENTINO, J. and YALOW, R. -
A nomogram for dose determinations in diagnostic roentgenology.
Radiology, 1950, 55, 748-753.

B - EMPLOI DES FANTOMES.

33 - FOWLER, J.F. and YOUNG, A.E. -
The average density of healthy lung
Am. J. Roentgen, 1959, 81, 312-315.

34 - HARRIS, J.H., TUDDENHAM, W.J., STANTON, L., GLAUSER, F. and PENDERGRASS, E.P. -
Development of chest phantoms for use in radiologic dosimetry.
Radiology, 1956, 67, 805-813.

35 - RODERICK, J.F. -
Plastic roentgen ray phantoms.
Am. J. Roentgen, 1959, 81, 331-335.

C - MESURES DE LA DOSE INTEGRALE ABSORBEE.

36 - ARNAL M.L. und PYCHLAU H.
Die strahlenbelastung des Patienten bei röntgendiagnostischen Untersuchungen
Fortschr. Röntgenstr.
1961, 95, 323-335.

37 - DUTREIX, A. et TUBIANA, M. -
Evaluation de la dose intégrale dans un volume de dimensions finies, homogène et de densité 1.
Ann. Radiol., 1959, 2, 383-388.

38 - FEDDEMA, J. and COSTERKAMP, W.J. -
Volume doses in diagnostic radiology,
Modern Trends in diagnostic Radiology,
Butterworth, éditeur, Londres, 1953, p. 35-42.

39 - MORGAN, R.H. -
The measurement of radiant energy levels in diagnostic roentgenology.
Radiology, 1961, 76, 867-881.

40 - REINSMA, K. -
The evaluation of the integral absorbed doses in diagnostic roentgenology.
Medica Mundi, 1959, 5, 41-46.

41 - SCARP, A.G., -
Integral dose and high energy radiation.
Brit. J. Radiol., 1960, 33, 770-775.

C - ANATOMIE DE LA MOELLE OSSEUSE.

42 - CUSTER, R.P. and AHLFELDT, F.E. -
Studies on the structure and function of bone marrow ; variations in cellularity in various bones with advancing years of life and their relative response to stimuli.
J. Lab. et Clin. Med., 1932, 17 960-962.

43 - HASHIMOTO, M. -
The distribution of active marrow in the bones of normal adult.
Kyushu J. Med. Science, 1960, 11, 103-111.

44 - HOLODNY, E., LECHTMAN, H. and LAUGHLIN, J.S. -
Bone marrow dose produced by radioactive isotopes.
Radiology, 1961, 77, 1-12.

45 - WOODARD, H.D. - and HOLODNY, E. -
A summary of the data of Mechanik on the distribution of human bone marrow.
Physics in Med. and Biol., 1960, 5, 57-59.

II - DOSES D'IRRADIATION AU COURS DES PRINCIPAUX EXAMENS.

A - MESURES D'ENSEMBLE.

46 - AIRTH -
Routine incident radiation dosage measurement in barium meal examination.
Brit. J. Radiol., 1959, 32, 61-64.

47 - ARDRAN, G.M., EMRYS ROBERTS, E. ans KEMP. F.M. -
The duration of fluoroscopic examination.
Brit. J. Radiol. 1957, 30, 381.

48 - HANDLOSER, J.R., and LOVE, R.A. -
Radiation doses from diagnostic X-ray studies.
Radiology, 1951, 57, 252-253.

49 - LINCOLN, T.A., and GUPTON, E.D. -
Radiation doses in diagnostic X-ray procedures.
Radiology, 1958, 71, 208-215.

50 - MARTIN, J.M. -
Radiation doses received by skin of patient during routine diagnostic X-ray examination.
Radiology, 1948, 14, 157-161.

51 - MARTIN, J.M. -
Radiation doses received by skin of patient during routine diagnostic X-ray examination.
Brit. J. Radiol., 1947, 20, 279-283.

52 - MOORE, R.C. -
Roentgen doses during diagnostic procedures.
Radiology, 1952, 59, 250-251.

53 - RITTER, V.M., WARREN, S.R. and PENDERGRASS, E.P. -
Roentgen doses during diagnostic procedures.
Radiology, 1952, 59, 238-250.

54 - SEELENTAG, W. -
Die Strahlenbelastung des Patienten in der röntgendiagnostik, ihre Höhe, variabilität und Bedentung.
Deuts. Med. Woch., 1961, 86, 2513-2523.

55 - SHEDAL, M. -
Roentgen ray dosage during routine diagnostic studies.
Am. J. Roentgen., 1942, 48, 807-815.

56 - TRANTER, F.W. -
Radiation hazard connected with the use of the image intensifier ; fitted in conventional roentgen units.
Acta Radiol., 1960, 546, 495-496.

B - LA DOSE-GONADES EN RADIODIAGNOSTIC ET RADIOTHERAPIE COURANTE.

57 - ARDRAN, G.M. and CROOKS, H.E. -
Gonad radiation dose from diagnostic procedures.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 295.

58 - BAILEY, N.A., YODER, V.E. and BOZZONI, M.A. -
Gonadal dose in radiation therapy.
Radiology, 1960, 74, 820-823.

59 - VERCY, A., DEBERGH, P. et DESTREE, A. -
Mesures des doses reçues aux glandes génitales en radio-diagnostic.
J. Belge Radiol., 1955, 3, 430.

60 - BILLINGS, M.S., NORMAN, A. and GREENFIELD, M.A. -
Gonade dose during routine roentgenography.
Radiology, 1957, 69, 37-41.

61 - DEVIK, F., FLATBY, J. and BERTEIG, L. -
Determination of the ovary dose in roentgen procedures.
Acta Radiol., 1960, 54, 296-304.

62 - FELDMAN, A., BABCOCK, G.C., LANIER, R.R., and MORKOVIN, D. -
Gonadal exposure dose from diagnostic X-ray procedures.
Radiology, 1958, 71, 197-207.

63 - GWINN, J.L., GASTINEAU, D.C. ans CAMPBELL, J.A. -
Gonadal dosage in pediatric radiotherapy.
Radiology, 1961, 76, 881-884.

64 - ISTIN, J. -
Doses gonades en radiodiagnostic.
Thèse Bordeaux, 1958.

65 - KAPLAN, G., COLLICA, C. and RUBENFIELD, S. -
Gonadal exposure incident to roentgen therapy,
Radiology, 1961, 76, 877-881.

66 - KEANE, B.E. and SPIEGLER, G. -
Assessment of dose to the gonads outside X-ray beams.
Brit. J. Radiol., 1961, 34, 362-367.

67 - KOREN, K. and MAUDAL, S. -
GOnad doses receveid during the medical application of roentgen radiation.
Acta Radiol., 1957, 48, 273-279.

68 - LARROQUE, C.H. -
Doses gonades en radiodiagnostic.
Thèse Bordeaux, 1957.

69 - LINCOLN, T.A., and GUPTON, E.D. -
Radiation dose to gonads from diagnostic X-ray exposure.
J.A.M.A., 1958, 166, 233-239.

70 - MARTIN, J.H. -
Radiation doses to gonads in diagnostic radiology and their relationhip to long-term genetic hazards.
Med. J. Australia, 1955, 2, 806-810.

71 - MOHR, M. -
Uber Messung der Gonadendosis bei Patienten in der Röntgendiagnostik.
Strahlenther, 1958, 106, 80.

72 - QUIRAC, J. -
Rapport entre la dose-gonades mesurée en surface et la dose réelle chez la femme en radiodiagnostic.
Thèse Bordeaux, 1959.

73 - SOWBY, F.D. -
Dose to the gonads during diagnostic procedures.
J. Can Assoc. Radiol. 1957, 8, 57-59.

74 - STANFORD, R.W. and VANCE, J. -
The quantity of radiation receveid by the reproductive organs of patients during routine diagnostic X-rays examination.
Brit. J. Radiol., 1955, 28, 266-273.

75 - WEBSTER, E.W. and MERRIL, D.E. -
Radiation hazards. II - Measurement of gonadal dose in radiographic examination.
New Engl. J. Med., 1957, 257, 811-819.

C - L'IRRADIATION AU COURS DES EXAMENS RADIOLOGIQUES DU THORAX.

76 - BARIETY, M., VIDAL, L.F., COURY, C et GIBER, J.L. -
Exposition aux rayons X au cours des différents examens radiologiques du thorax.
Sem. Hôp. Paris, 1959, 35, 536-543.

77 - CLARK, J.B. and GRENVILLE-MATHERS, R. -
Chest X-ray examination and radiation hazards.
The Lancet, 1957, 1276-1277.

78 - EPP, E.R., WEISS, H. and LAUGHLIN, J.S. -
Measurement of bone marrow and gonadal dose from the chest X-ray examination as a function of field size, field alignment, tube kilovoltage and added filtration.
Brit. J. Radiol., 1961, 34, 85-100.

79 - HAYEM, M. -
La radioscopie pulmonaire et ses dangers génétiques.
Thèse Bordeaux, 1957.

80 - WILSON, R. and CARRUTHERS, J.A. -
Absorbed dose in the thoracic vertebral in chest roentgenography.
Radiology, 1961, 76, 478-479.

D - LES EXAMENS RADIOLOGIQUES DU PETIT BASSIN.

81 - BARNETT, E. and BEWLEY, D.K. -
Ovarian radiation during hysterosalpingography.
J. Fac. Radiol., 1955, 6, 186.

82 - BEWLEY, D.K., LAWS, J.W. and MYDDLETON, C.J. -
Material and foetal radiation dosage during obstetric radiographic examination.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 286-290.

83 - STANFORD, R.W. -
Radiation doses in radiographic pelvimetry.
Brit. J. Radiol., 1951, 24, 226.

84 - WEENS, S.H., CLEMENTS, J.L., and TOLAN, J.H. -
Radiation dosage to the female genital tract during fluoroscopic procedure.
Radiology, 1954, 62, 745.

E - LE RADIODIAGNOSTIC DE L'ENFANT.

85 - BARRETT, A.F., and VERNEY, G.I. -
Tomography and other radiological methods in the management of congenital dislocation of the hi.
Brit. J. Radiol., 1960, 33, 684-690.

86 - CHASSAGNE, D., DUTREIX, A., GASIOROWSKI, M., NAHUM, M., PEREZ, R. et TUBIANA, M. -
Doses reçues au niveau des gonades au cours d'examens radiologiques pratiqués chez l'enfant.
Ann. Radiol., 1958, 1, 233-246.

87 - LAUGIER H. -
Contribution à l'étude de l'irradiation des nourrissons lors de l'examen radiologique de leur estomac. Mémoire pour le Certificat d'Electro-radiologie. Paris 1962.

88 - SERRA, R. -
Les doses de rayons X reçues par les enfants au cours des examens radiologiques.
Mémoire pour le Certificat d'Electro-radiologie, Paris 1956.

F - QUELQUES AUTRES EXAMENS IMPORTANTS.

89 - DUBILIER, W., BURNETT, M.W., DOTTER, C.T. and STEINBERG, I. -
Radiation hazard during angiocardiography.
Am. J. Roentgen, 1953, 70, 441-444.

90 - LIDEN, K. and LINDGREN, M. -
Radiation hazards during cholangiographic examination.
Acta Radiol., 1952, 38, 1-7.

91 - PIZON, P. -
De quelques examens radiographiques dangereux.
Presse Méd., 1956, 64, 686-687.

G - CAS PARTICULIER DES RADIOGRAPHIES DENTAIRES

92 - ARDRAN, G.M. and CROOKS, H.E. -
Observation on the dose from dental X-ray procedures with a note on radiography of the nasal bones.
Brit. J. Radiol., 1959, 32, 572-583.

93 - BAILY, A. -
Patient exposure to ionizing radiation in dental radiography.
Radiology, 1957, 69, 42-45.

94 - GORSON, R.O., HALVORSEN, R.M., LIEBERDAN, J. and AITKEN, E.N. -
A limited survey of radiation exposure from dental X-ray units.
Radiology, 1959, 72, 1-13.

95 - KOREN, K. and MAUDALS -
Radiation dosage in dental roentgen examination.
Acta Radiol., 1957, 48, 470-472.

H. Doses reçues lors des explorations isotopiques.

96 - BERCY A. -
Calcul de la dose d'irradiation reçue aux ovaires lors d'un traitement ou d'un test par l'iode radio-actif I^{131}.
J. belge Radiol. 1957, 40, 333-345.

97 - COMAS F. and BRUCER. M.
Irradiation of the ovaries from the urinary excretion of iodine 131.
Am. J. ROENTGENOL. 1960, 83, 501-506.

98 - PRIEUR F.
Contribution à l'étude des gammagraphies hépatiques obtenues au moyen d'isotopes radio-actif.
Thèse Paris 1962.

99 - TURIANA M. et VALLEE G. -
L'étude de la fonction thyroïdienne chez l'enfant grâce à l'iode radio-actif.
Path. Biol. 1959, 7, 1259-1277.

100 - WEIJER, D.L. DUGGAN, H.E., and SCOTT, D.B.
Total body radiation and dose to the gonads from the therapeutic use of iodine 131 : a survey of 20 cases.
J. CANAD. ASS. RADIOL. 1960, 11, (50-56).

101 - ARDRAN G.M. -
The dose to operator and patient in X-ray diagnostic procedures.
Brit. J. Radiol., 1956, 29, 266-269.

102 - ARDRAN, G.M., CROOKS, H.F., KEMP, F.M. and OLIVER, R. -
Radiation dose to staff in medical X-ray department.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 359.

103 - BINKS, W. -
Radiation exposure of staff in diagnostic procedure. III. Some aspects of radiation hygiene.
Brit. J. Radiol., 1955, 28, 654-661.

104 - BURR, R.C., and HOLLOWAY, A.F. -
Radiation hazards and protection in diagnostic radiology.
J. Canad. Ass. Radiol., 1960, 11, 75-80.

105 - CEDERLUND, J., LIDEN, K. and LINDGREN, M. -
Distribution of scattered radiation in a fluoroscopic room.
Acta Radiol., 1955, 41, 457-465.

106 - CHANTEUR J. et MORONI J.P.
Note relative à la détermination des doses d'exposition au niveau des opérateurs au cours de certains examens radiologiques per-opératoires.
Ann. Radiol. 1962, 5, 371-377.

107 - GODFREY, B.E., OSBORN, S.B. and TEMPLETON, D.J. -
Casual exposure of nurses to X radiation.
The Lancet, 1957, 363-364.

108 - KEEN, R.I. -
The radiation hazard to anaesthetists.
Brit. J. Anesth., 1960, 3215, 224-229.

109 - LARSSON, L.E. -
Radiation doses to patients and personnal in modern roentgen diagnostic nork.
Acta. Radiol., 1956, 46, 680-689.

110 - OSBORN, S.B. -
Radiation dose received by diagnostic X-ray workers.
Brit. J. Radiol., 1955, 28, 650-654.

111 - QUIMBY, E.H. -
Evaluation of personal radiation exposure.
Radiology, 1951, 56, 592-593.

112 - RITVO, M., D'ANGIO, G.J. and RHODES, I.E. -
Radiation hazards to non radiologists participating in X-ray examination.
J.A.M.A., 1956, 160, 4-10.

113 - STAUFFER, H.M. -
Radiation protection in angiography.
Am. J. Roentgen., 1957, 77, 358-359.

114 - SANTAGOSTNI, F. and SANTAGOSTINI, S. -
Le rayonnement ambiant en radio-diagnostic. Etude technique pour la protection du radiologiste.
Ann. Radiol., 1960, 3, 197-212.

1°) - ABBAT, J.-D. and LEA, A.-J. - The incidence of leukemia in ankylosing spondylitis treated with X rays.
Lancet, 1956, II, 1317 ;

2°) - ARAKAWA, E.-T. - Radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors.
New Engl. J. Med., 1960, 263, 488-493 ;

3°) - BEARD, M.-F. - The risk in leukemogenis.
Amer. J. Roentgen., 1959, 81, 503-508 ;

4°) - BEGEMANN, H. -
Dtsch. Med. Wschr., 1957, 41, 1755;

5°) - BERAUD, C. et BASTIDE, R. - Les dangers éloignés des examens radiologiques chez le nourrisson et chez l'enfant.
J. Radiol., 1957, 38, 616-621 ;

6°) - BERNARD, J., BOIRON, M. et CORNU, P. - Remarques sur l'hématologie des radioleucoses humaines.
Sang, 1958, 29, 734-749 ;

7°) - BOUSSER, J. - Les radioleucoses.
Concours Méd., 1960, 82, 1501 ;

8°) - BOUSSER, J., BROSSEAU, C. et CHRISTOL, D. - Les antécédents d'exposition aux radiations ionisantes chez les sujets atteints de leucose.
Le Sang, 1959, n° 2 ;

9°) - BOIRON, M. - Risque leucémogène et radiations ionisantes chez l'homme.
Cahiers du Collège de Médecine, 1960, 2, 759-766 ;

10°) - BRUES, A.-M. - Critique of the linear theory of carcinogenis.
Science, 1958, 128, 693-699 ;

11°) - BURCH, P.-R. - Radiation carcinogenesis : a new hypothesis.
Nature, 1960, 185, 135-142 ;

12°) - BUCK, C. - Population Size required for investigating threshold dose in radiation-induced leukemia.
Science, 1959, 129, 1357-1358 ;

13°) - BUCNARD, L. - Les dangers des radiations ionisantes.
Rev. Hyg., 1957, 51, 160 ;

14°) - BUSCHKE, F. and PARKER, M.-M. - Possible hasards of repeated fluoroscopies in infants.
J. Pediatr., 1952, 21, 524-533 ;

15°) - CARIER, T.-C., LYON, M.-F. and PHILLIPS, R.-J. - Radiation dose-rate and mutation frequency.
Nature, 1958, 182, 409 ;

16°) - CONTI, E.-A., PATTON, G.-D., CONTI, J.-E. and HEMPELMANN, L.-H. - Present health of children given X-ray treatment to the anterior mediastinum in infancy.
Radiology, 1960, 74, 386-391 ;

17°) - COOPER, A.-G.-S. and STEINBECK, A.-W. - Leukaemia following irradiation in utero.
B. J. R., April 1959, 32, 265 ;

18°) - COURT-BROWN, W.-M. - Radiation and leukemia in man.
Brit. Med. Bull., 1958, 14, 168 ;

19°) - COURT-BROWN, W.-M. and DOLL, R. - Radiation and leukemia.
Lancet, 1958, 1, 162 ;

20°) - COURT-BROWN, W.-M. and ABBATT, J.-D. - The incidence of leukemia in ankylosing spondylitis treated with X-rays. Preliminary report.
Lancet, 1955, 1, 1283 ;

21°) - COURT-BROWN, W.-M. and DOLL, R. - Leukemia and aplastic anemia in patients irradiated for ankylosing spondylitis. Medical Research Council Special report n° 295.
London H.M.S.O., 1957 ;

22°) - COURT-BROWN, W.-M. and DOLL, R. - Expectation of life and mortality from cancer among British radiologists.
Brit. Med. J., 1958, 31, 181 ;

23°) - COURT-BROWN, W.-M. and DOLL, R. - A prospective study of the leukemia mortality of children exposed to ante-natal diagnostic radiography. A preliminary report.
Proc. Roy. Soc. Med., 1960, 53, 761 ;

24°) - COURT-BROWN, W.-M., DOLL, R. and BRADFORD HILL, A. - Incidence of leukemia after exposure to diagnostic radiation in utero.
Brit. Med. J., 1960, 11, 1539 ;

25°) - COURT-BROWN, W.-M., DOLL, R., SPIERS, F.-W., DUFFY, B.-J. and Mc HUGH, M.-J. - Geographical variation in leukemia mortality in relation to background radiation and other factors.
Brit. Med. J., 1960, 11, 1753-1759 ;

26°) - CRAIG, L. and SEIDMAN, H. - Leukemia and lymphoma mortality in relation to cosmic radiation.
Blood, 1961, 17, 319 ;

27°) - CRONKITE, E.-P. - The etiologic role of radiation in the development of leukemia.
Blood, 1960, 18, 370 ;

28°) - CRONKITE, E.-P., MOLONEY, W. and BOND, V.-P. - Radiation leukemogenis : an analysis of the problem.
Am. J. Med., 1960, 28, 673-682 ;

29°) - CROW, J.-F. - A comparison of foetal and infant death rates in the progeny of radiologists and pathologists.
Am. J. Roentgen., 1955, 73, 467 ;

30°) - DENOIX, P.-F. - De la diversité de certains cancers. Monographie de l'Institut National d'Hygiène, Paris, 1954;

31°) - DENOIX, P.-F. - Douze exposés de cancérologie humaine. Exposés de l'Institut Gustave-Roussy, Villejuif, 1959-60 ;

32°) - ELLIS, R.-E. and HAMMONG, B. - British estimate of the man marrow dose per capita per year from diagnostic Radiology. Adrian Commitee on Radiology Hazards to patients. London, H.S.M.O., 1959 ;

33°) - FOLLEY, J.-H., BORGES, W. and YAMAWAKI, T. - Incidence of leukemia in survivors of atomic bomb in Hiroshima. Amer. J. Med., 1952, 13, 311 ;

34°) - FORD, D.-D., PATERSON, C.-S. and TREUTING, W.-L. - Fetal exposure to diagnostic X-rays and leukemia and other malignant disease in childhood. J. Nat. Cancer Inst., 1959, 22, 1093-1104 ;

35°) - GILLIAM, A.-G. and WALTER, W.-A. - Trends of mortality from leukemia in the United States 1921-55. Pub. Health Rep., 1958, 73, 773-784 ;

36°) - GUICHARD, R. - Radiodiagnostic et leucoses chez l'enfant. J. Radiol., 1960, 41, 513 ;

37°) - GRAHAM, D.-C. - Leukemia following X-ray therapy for ankylosing spondylitis. Arch. Int. Med., 1960, 105, 51-59 ;

38°) - GUNZ, F.-W., BORTHWICK, R.-A. and ROLLESTON, G.-L. - Acute leukemia in an infant following excessive intrauterine irradiation. Lancet, 1958, 2, 190-192 ;

39°) - HEMPELMANN, L.-H. - Epidemiological studies of leukemia in persons exposed to ionizing radiation. Cancer Research, 1960, 20, 18-27 ;

40°) - HENSHAW, P.-S. and HAWKINS, J.-W. - The incidence of leukemia in physicians. J. Nat. Cancer, 1944, 4, 339-346 ;

41°) - HEYSSEL, R., BRILL, A.-B., WOODBURY, L.-A., NISHIMURA, E.-T., GHOSE, T., HOSHINO, T. and YAMASAKI, M. - Leukemia in Hiroshima atomic bomb survivors. Blood, 1960, 15, 313-331 ;

42°) - HEWITT, D. - Some features of leukemia mortality. Brit. J. Prev. Soc. Med., 1955, 9, 81 ;

43°) - HOLODNY, E., LECHTMAN, M. and LAUGHLIN, J.-S. - Bone marrow doses produced by radioactive Isotopes. Radiology, 1961, 77, 1-11 ;

44°) - HOOPER, F.-M. - Radiation hazards in X-ray diagnosis.
Med. J. Australia, 1960, 1, 572-576 ;

45°) - JUSTIN-BESANÇON, L., PEQUIGNOT, M., ETIENNE, J.-P. et MONSALLIER, J.-F. - Leucose myéloïde chronique et radiodiagnostic.
Sem. Hôp. Paris, 1960, 36, 2377-2381 ;

46°) - KAISER, I.-M. and MARVIN, J.-F. - Effect of antepartum diagnostic roentgenography on the white blood cell count of the new born infant.
Radiology, 1957, 68, 249-250 ;

47°) - KAPLAN, H.-S. - An evaluation of the somatic and genetic hazards of the medical uses of radiation.
Amer. J. Roentgen., 1958, 80, 696 ;

48°) - KIMBALL, A.-W. - Evaluation of data relating humain leukemia and ionizing radiation.
J. Nat. Cancer Inst., 1958, 21, 388-391 ;

49°) - KJELDSBERG, H. - Relationship between leukemia and X-rays.
T. Norske Laegeforening, 1957, 77, 1052 ;

50°) - LANG, R.-D., MOLONEY, W.-C. and YAMAWAKI, T. - Leukemia in atomic bomb survivors.
Blood, 1954, 9, 574 ;

51°) - LATOURETTE, H.-B. and HODGES, F.-J. - Incidence of neoplasia after irradiation of thymic region.
Am. J. Roentgen., 1959, 82, 667-677 ;

52°) - LEFEVRE, J. et SERRA, R. - A propos des rayons X reçus par les enfants au cours des examens radiologiques.
Arch. Franç. Pédiat., 1957, 14, 293 ;

53°) - LEGUERINAIS, J. et MAUJOL, L. - La mortalité par cancer en France en 1959.
Bull. Inst. Nat. Hyg., 1960, 15, 1043-1073 ;

54°) - LEJEUNE, J. et TURPIN, R. - Sur le mécanisme génétique possible des radioleucémies chez l'homme.
Sang, 1950, 29, 730-734 ;

55°) - LEJEUNE, J., TURPIN, R., RETHORE, M.-O. et MAYER, M. - Résultats d'une première enquête sur les effets somatiques de l'irradiation foeto-embryonnaire in utero (Cas particulier des hétérochromies iriennes).
Rev. Franç. Et. Clin. Biol., 1960, 5, 982 ;

56°) - LEWIS, E.-B. - Leukemia and ionizing radiations.
Science, 1957, 125, 965 ;

57°) - LEWIS, T.-L.-T. - Leukemia in childhood after ante-natal exposure to X-rays. A survey at Queen Charlotte's Hospital.
Brit. Med. J., 1960, 11, 1551 ;

58°) - MAC MAHON - Working paper on epidemiology of leukemias. W.H.O. Scientific group on research on leukemias 1961 ;

59°) - MAC MAHON, B. - Intra-uterine X-ray exposure and childhood cancer. (A paraître dans J. Nat. cancer Inst., 1962) ;

60°) - MANNING, M.-D. and CAROLL, B.-E. - Some epidemiological aspects of leukemia in childhood. J. Nat. Cancer Inst., 1957, 19, 1080 ;

61°) - MARCH, M.-C. - Leukemia in radiologists. Radiology, 1944, 43, 275-278 ;

MARCH, M.-C. -
62°) - Leukemia in radiologists in a 20 year period. Amer. J. Med. Sci., 1950, 220, 282 ;

63°) - MERY, A.-M. - Contribution à l'étude des facteurs étiologiques des leucémies de l'enfant. Thèse Paris, 1961 ;

64°) - MOLONEY, W.-C. - Leukemia and exposure to X-ray : a report of 6 cases. Blood, 1959, 14, 1137-1142 ;

65°) - MOLONEY, W.-C. and KASTENBAUM, M.-A. - Leukemogenic effects of ionizing radiation on atomic bomb survivors in Hiroshima. Science, 1955, 121, 308 ;

66°) - MOLONEY, W.-C. - Leukemia in survivors of atomic bombing. New England J. Med., 1955, 253, 88 ;

67°) - MOLONEY, W.-C. and LANGE, R.-D. - Leukemia in atomic bomb survivors. Observations on early phases of leukemia. Blood, 1954, 9, 66 ;

68°) - MORGANTI, G. et CRESSERI, A. - Nouvelles recherches génétiques sur les leucémies. Sang, 1954, 25, 421 ;

69°) - MORENO, A.-R. - Incidence of leukemia in patients with rhumatoïd spondylitis treated by radiotherapy. Arch. Int. Rhum., 1961, 4, 159-166 ;

70°) - MURRAY, R., HECKEL, P. and HEMPELMAN, L.-H. - Leukemia in children exposed to ionizing radiations. New Engl. J. Med., 1959, 261, 585 ;

71°) - OCHSNER, S.-F. - The thymus Gland in children and Roentgenologist. Am. J. Roentgen., September 1961, 86, 598 ;

72°) - PIZON, P. - Le sang et les bombes atomiques. Press. Med., 1956, 64, 391-394 ;

73°) - POLHEMUS, D.-W. and KOCH, R. - Leukemia and medical radiation. Pediatrics, 1959, 23, 453 ;

74°) - SAUVEGRAIN, J. - Etude radiologique des malpositions oesophago-cardiotuberositaires. 16é Congrès des Pédiatres de Langue Française. Paris, 1957. Expansion Scientifique Française.

75°) - SCHWARTZ, E.-E. and UPTON, A.-C. - Factors influencing the incidence of leukemia : special consideration of the role of ionizing radiation. Blood, 1958, 13, 845-864 ;

76°) - SELTSER, R. and SARTWELL, P.-E. - Ionizing radiation and longevity of physicians. J.A.M.A., 1958, 166, 585-587 ;

77°) - SILDERBERG, D.-H., FROHMAN, L.-A. and DUFF, I.-F. - The incidence of leukemia and related disease in patient with rheumatoïd ankylosing spondylitis treated with X-ray therapy. Arthr. and Rheum., 1960, 3, 64 ;

78°) - SILVERMAN, F.-N. - Thymic irradiation : a historical note. Am. J. Roentgen., 1960, 84, 562-564 ;

79°) - SIMPSON, C.-L., HEMPELMANN, L.-H. and FULLER, L.-M. - Neoplasia in children treated with X-rays in infancy for thymic enlargement. Radiologic., 1955, 64, 840 ;

80°) - SIMPSON, C.-L. and HEMPELMANN, L.-H. - The association of tumors and roentgen Ray treatment of the thorax in infancy. Cancer, 1957, 10, 42 ;

81°) - SNEGIREFF, L.-S. - The Elusiveness of neoplasia following roentgen therapy for thymic enlargement in childhood. Radiology, 1959, 72, 508-517 ;

82°) - STEINBERG, A.-G. - The genetics of acute leukemia in children. Cancer, 1960, 13, 985 ;

83°) - STEWART, J.-C. and SANDERSON, A.-R. - Chromosomial aberration after diagnostic X-irradiation. Lancet, 1961, 1, 978-979 ;

84°) - STEWART, A., WEBB, J., GILES, D., and HEWITT, D. - Malignant disease in childhood and diagnostic irradiation in utero (Preliminary communication). Lancet, 1956, 2, 447 ;

85°) - STEWART, A., WEBB, J. and HEWITT, D. - A survey of childhood malignancies. Brit. Med. J., 1958, 1, 1495 ;

86°) - STURGEON, P. - Volumetric and microscopic pattern of bone marrow in normal infants and children.
Pediatrics, 1951, 7, 577-642, 774 ;

87°) - TUBIANA, M. - Les radio-leucoses chez l'homme.
Sang, 1958, 29, 721 ;

88°) - TUBIANA, M., BERNARD, C.-I. et LALANNE, C. - Modification de l'érythropoïèse après radiothérapie pelvienne.
Acta Radiol., 1959, 52, 321-335 ;

89°) - ULRICH, H. - The incidence of leukemia in radiologists.
New Engl. J. Med., 1946, 234, 45-46 ;

90°) - UPTON, A.-C. - The dose-reponse relation in radiation induced cancer.
Cancer research, 1961, 21, 717-729 ;

91°) - VAN SWAAY, H. - Aplastic anemia and myeloïd leukemia after irradiation of the vertebral column.
Lancet, 1955, 11, 225 ;

92°) - WALD, N. - Leukemia in Hiroshima City atomic bomb survivors.
Science, 1958, 127, 699 ;

93°) - WARREN, S. - Longevity and causes of death from irradiation in physicians.
J.A.M.A., 1956, 162, 464-468 ;

94°) - WARREN, S. - Factors in causation of leukemia.
J. Mt. Sinaï Hosp., 1957, 24, 1331 ;

95°) - WISE, M.-E. - The latent period and its variation in human leukemia induced by X-rays.
Health Phys., 1961, 4, 250-266.

Leucémie et iode radio-actif

1°) - BURNS, T.-W., VICKERS, R. and LOWNEY, J.-F. - Acute leukemia after radioactive iodine.
Arch. Int. Med., 1960, 106, 97-100 ;

2°) - DELARUE, J., TUBIANA, M. et DUTREIX, J. - Cancer de la thyroïde traité par l'iode radio-actif. Terminaison par une leucémie aiguë après une amélioration importante.
Bull. du Cancer, 44, 263, 1953 ;

3°) - JELLIFFE, A.-M. and K.-M. JONES - Leukemia after I^{131} therapy for thyroid cancer.
Clin. Radiol., 1960, 11, 134-135 ;

4°) - KENNEDY, W.-M. and FISH, R.-G. - Acute granulocytic leukemia after radio-active iodine therapy for hyperthyroidisin.
New Engl. J. Med., 1959, 260, 76-77 ;

5°) - POCHIN, E.-E. - Leukemia following radioactive treatment of thyrotoxicosis.
Brit. Med. J., 1960, 2, 1545-1550 ;

6°) - SEIDLIN, S.-M., YALOW, A.-A. and SIEGEL, E. - Blood radiation dose during radio-iodine therapy of metastatic thyroid carcinoma.
Radiology, 1954, 63, 797-813 ;

7°) - VETTER, H. and HOFER, R. - Acute leukemia following radio-iodine therapy of thyrotoxicosis.
B. J. R., April 1959, 32, 263-264 ;

WERNER, S.-C., GITTELSOHN, A.-M. and BRILL, A.-B. - Leukemia following radioiodine therapy of hyperthyroidisin.
J.A.M.A., 1961, 177, 646-648.

Leucémie et phosphore radio-actif

8°) - FAUVERT, R., BOIVIN, P., MALLARME, J. et NICOLLO, F. - Conduite et résultats du traitement des polyglobulies par le radio-phosphore 32. Etude de 200 cas.
Nouv. Rev. Franç. Hémat., 1961, 1, 459-472 ;

9°) - LEDLIE, E.-M. - The incidence of leukemia in patients with polycythaemia vera treated by P 32.
Clin. Radiol., 1960, 11, 130-133 ;

10°) - MASOUREDIS, S.-P. and LAWRENCE, J.-M. - The problem of leukemia in polycythaemia vera.
Am. J. M. Sc., 1957, 233, 268-274 ;

11°) - TUBIANA, M., VALLEE, G., BOIRON, M. et PEREZ, R. - Le devenir des polyglobulies essentielles traitées par le phosphore radio-actif à propos d'une série de 310 cas.
Nouv. Rev. Franç. Hémat., 1961, 1, 445-459.

V - LE RISQUE SOMATIQUE : RADIO-CANCERS ET AUTRES CONSEQUENCES

I - Cancer de la thyroïde.

1°) - ANDRE, P. et PINEL - Cancer du corps thyroïde après radiothérapie pour papillomatose laryngée de l'enfance.
Annales d'O.R.L., 1955, 72, 818 ;

2°) - CLARCK, D.-E. - Association of irradiation with cancer of the thyroid in children and adolescent.
J.A.M.A., 1955, 159, 1007-1009 ;

3°) - COLIEZ, R., TUBIANA, M., DUTREIX, J.-M. et LAUGIER, A. - La place de l'iode radioactif dans le diagnostic et le traitement du cancer de la thyroïde (168 cas).
Bull. Ass. Fr. Cancer, 1958, 43, 218-242 ;

4°) - CONTI, E.-A., PATTON, G.-D., CONTI, J.-E. and HEMPELMANN, L. - Present health of children given X-ray treatment to the anterior mediastinum in infancy.
Radiology, 1960, 74, 386-391 ;

5°) - DUFFY, B.-J. - Can radiation cause thyroid cancer ?
J. Clin. Endocrinol., 1957, 17, 1383-1388 ;

6°) - DUFFY, B.-J. and FITZGERALD, P.-J. - Thyroid Cancer in childhood and adolescence.
Cancer, 1950, 3, 1018-1052 ;

7°) - GARLAND, L.-H. - Cancer of the thyroid and previous irradiation.
Surg. Gyn. and obst., 1961, 112, 564-566 ;

8°) - GOOLDEN, A.-N.-G. - Carcinoma of the thyroid following irradiation.
Brit. Med. J., 1958, 2, 954-955 ;

9°) - HARADA, T. and ISHIDA, M. - Neoplasms among A. bomb survivors in Hiroshima first report.
J. Nat. Cancer Inst., 1960, 25, 1253-1264 ;

10°) - JELLIFFE, A.-M. and JONES, K.-M. - Thyroid cancer after irradiation in adult life.
Clin. Radiol., 1960, 11, 162-165 ;

11°) - LAMERTON, L.-F. - An examination of the clinical and experimental data relating to the possible hazard to the individual of small doses of radiation.
Brit. J. Radiol., 1958, 31, 229-239 ;

12°) - ROONEY, J.-R. and POWELL, R.-W. - Carcinoma of the thyroid in children after X-ray therapy in early childhood.
J.A.M.A., 1959, 169, 1-4 ;

13°) - SAENGER, E.-L., SILVERMAN, F.-N., STERLING, T.-D. and TURNER, M.-E. - Neoplasia following therapeutic irradiation for begnin conditions in childhood.
Radiology, 1960, 74, 889-904 ;

14°) - SHELINE, G.-E., LINDSAY, S. and BELL, H.-G. - Occurence of thyroid noduls in children following therapy for hyperthyroidisen.
J. of Clin. End. and Met., 1959, 19, 127-137 ;

15°) - SALAÜN, O., PROT, D., GIRARD, J. et PICARD, J.-M. - A propos du cancer de la thyroïde chez les enfants antérieurement irradiés.
J. Radiol., 1958, 39, 528-531 ;

16°) - SIMPSON, C.-C. and HEMPELMANN, L.-M. - The association of tumors and X-ray treatment of the thorax in infancy.
Cancer, 1957, 10, 42-56 ;

17°) - SIMPSON, C.-C., HEMPELMANN, L.-H. and FULLER, L.-H. - Neoplasia in children treated with X-ray in infancy for thymic enlargement.
Radiology, 1958, 64, 840 ;

18°) - TUBIANA, M. et VALLÉE, G. - L'étude de la fonction thyroïdienne chez l'enfant grâce à l'iode radioactif.
Sem. Hôp. Paris (Path. et Biol.), 1959, 7, 1259-1277 ;

19°) - UHLMANN, E.-M. - Cancer of the thyroid and irradiation.
J.A.M.A., 1956, 161, 504-507 ;

20°) - UPTON - Dose-response relation in radiation-induced causes.
Cancer Research, 1961, 21, 717-727 ;

21°) - WILSON, G.-M., KILPATRICK, R., ECKERT, M., CURRAN, R.-C., JEPSON, R.-P., BLOMFIELD, G.-N. and MILLER, M. - Thyroid neoplasms following irradiation.
Brit. Med. J., 1958, 2, 929-934 ;

22°) - WILSON, E.-H. and ASPER, S.-R. - The role of X-ray therapy to the neck region in the production of thyroid causes in young people.
Arch. Int. Med., 1960, 105, 244 ;

23°) - WINSHIP and ROSVOLL, R.-V. - A study of thyroid cancer in children.
Am. J. Surg., 1961, 102, 747-752 ;

II - Cancers dûs au thorotrast

24°) - BRADY, L.-W., CHANDLER, D.-E., GORSON, R.-O. and CULBERSON, J. - Perivascular extravasation of thorotrast.
Radiology, 1960, 74, 392-398 ;

25°) - CATTELL, R.-B. and KUHN, F. - Thorotrast and carcinogenesis : report of a case.
J.A.M.A., 1960, 174, 413-415 ;

26°) - KLIGERMAN, M., LATTES, R. and RANKOW, R. - Carcinoma of the maxillary sinus following thorotrast instillation : report of 3 cases.
Cancer, 1960, 13, 967-973 ;

27°) - LOONEY, W.-R. - An investigation of the late clinical finding following thorotrast administration.
Am. J. Roentgen., 1960, 83, 163-185 ;

28°) - LOONEY, W.-B. and COLODZIN, M. - Late following studies after internal deposition of radioactif materials.
J.A.M.A., 1956, 160, 1-13 ;

29°) - MONNIER, X. - Thorotrast et tumeurs du foie.
Thèse Montpellier, 1958 ;

III - Radiocancers osseux.

30°) - COHEN, J. and d'ANGLIO, G.-J. - Unusual bone tumors after roentgen therapy of children.
Am. J. Roentgen., 1961, 86, 502-512 ;

31°) - HINDMARSH, M., OWEN, M. and VAUGHAN, J. - A note on the Distribution of Radium and a Calculation of the Radiation Dose Non-uniformity Factor for Radium 226 and Strontium 90 in the Femur of a luminous Dial Painter.
Brit. J. Radiol., March 1959, 32, 183-187 ;

32°) - JONES - Irradiation sarcoma.
Brit. J. Radiol., 1953, 26, 273-284 ;

33°) - MARINELLI, L.-D. - Radioactivity and the human skeleton.
Am. J. Roentgen., 1958, 80, 729-739 ;

34°) - MEREDITH, J.-M., MANDEVILLE, F.-B. and KAY, S. - Osteogenic sarcoma of the skull following roentgen ray therapy for benign pituitary tumor.
J. Neuro Surg., 1960, 17, 792-799 ;

35°) - RAVENTOS, A., GROSS, S.-W. and PENDERGRASS, P. - Sarcoma following radiation injury of skull.
Am. J. Roentgen., 1960, 83, 145-148 ;

IV - Cataractes dues aux radiations.

36°) - DOLLFUS, M.-A. - Les lésions oculaires consécutives aux explosions et aux recherches d'énergie atomique.
Sem. Hôp. Paris (Ann. Rech. Med.), 1956, 32, 169-172 ;

37°) - FOCHT, E.-F., MERRIAM, G.-R., BARNES, M. and EVANS, J.-A. - Dose to the eye from radiographic procedures.
Radiology, 1961, 76, 459-463 ;

38°) - MERRIAM, G.-R. and FOCHT, E.-F. - Radiation Dose to the Lens in treatment of Tumors of the eye and Adjacent structures. Possibilities of cataract formation.
Radiology, 1958, 71, 357-369 ;

39°) - MERRIAM, G.-R. and FOCHT, E.-F. - A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose.
Am. J. Roentgen., 1957, 77, 759-785 ;

V - Radiocancers divers.

40°) - AGNEW, C.-M. - Accidental radiation dermatitis : acute reaction to roentgen rays.
Texas State J. Med., 1959, 55, 292-295 ;

41°) - COLIEZ - Radiodermite du radiodiagnostic in DELHERM Nouveau Traité d'Electrothérapie, Paris, 1950, Masson éd. ;

42°) - GALLOWAY, T.-C., SOPER, G.-R. and ELSEN, J. - Carcinoma of the larynx irradiation for papilloma.
Arch. Otolaryng, 1960, 72, 289-294 ;

43°) - MITCHELL, J.-L. and HAYBITTLE, J.-S. - Carcinoma of the skin appearing 49 years after a simple diagnostic exposure.
Acta Radiol., 1955, 44, 345 ;

44°) - DUPERRAT, B. et ANDRADE, R. - Radiodermite et cancer (A propos de 52 observations de radiodermite dont 12 cancérisées).
Presse Méd., 1958, 66, 59-62 ;

VI - Tumeurs pelviennes après irradiation.

45°) - HUNTER, R.-M., LUDWICK, N.-V., MOTLEY, J.-F. and OAKS, W.-W. - Use of radium in treatment of benign lesion of uterus : critical 20 year survey.
Am. J. Obst. Gyn., 1954, 67, 121-125 ;

46°) - MONTGOMERY, J.-B., LONG, J.-L. and HOFFMAN, J. - Clinical evaluation of use of radium therapy in control of benign uterus bleeding.
Am. J. Obst. and Gyn., 1952, 64, 1011-1020 ;

47°) - NOVAK, E.-R. and WOODRUFF, J.-D. - Post irradiation malignancies of pelvic organs.
Am. J. Obst. and Gyn., 1959, 77, 667-675 ;

48°) - PALMER, J.-P. and SPRATT, D.-W. - Pelvic carcinoma following irradiation for benign gynecological diseases.
Am. J. Obst. and Gyn., 1956, 72, 497-505 ;

49°) - RUBIN, P., PYPLANSKY, A. and DUTTON, A. - Incidence of pelvic malignancies following irradiation for benign gynecologic condition.
Am. J. Roentgen., 1961, 85, 503-514 ;

50°) - STANDER, R.-W. - Irradiation castration : follow up study of results in benign pelvic disease.
Obst. Gynec., 1957, 10, 223-229 ;

Effet de radiation sur l'embryon.

51°) - BIRCH, A. and BAKER, D.-H. - Effect of repeted fluoroscopic examinations on 1480 children with a long. term follow up study.
New England J. Med., 1960, 19, 1004-1008 ;

52°) - BRENT, R. - X-ray induced embryonic malformation in the rat : an application to the human malformation.
Am. J. of diseases of children, 1954, 88, 654-657 ;

53°) - BRENT, R.-L. and McLAUGHLIN, M.-M. - The indirect effect of irradiation on embryonic development.
Am. J. Dis. Child., 1960, 100, 94-108 ;

54°) - ERLING HAMMER and JACOBSEN - Therapeutic abortion on account of X-ray examination during pregnancy.
Danish Med. Bull., 1959, 6, 113-122 ;

55°) - GOLDSTEIN, L. and MURPHY, D.-P. - Microcephalic idiocy following radium therapy for uterine cancer during pregnancy.
Am. J. Obst. and Gyn., 1929, 18, 189-195 ;

56°) - GOLDSTEIN, L. and MURPHY, D.-P. - Etiology of ill-health of children born after maternal pelvic irradiation.
Am. J. Roentgen., 1929, 22, 322-331 ;

57°) - HAMILL, G., JARMAN, J. and WYNNE, D. - Fetal effects of radioactive iodotherapy in a pregnant woman with thyroid corca.
Am. J. Obst. and Gyn., 1961, 81, 1018-1023 ;

58°) - HARRIS, W. - Therapeutic abortion produced by roentgen ray.
Am. J. Roentgen., 1952, 27, 415-419 ;

59°) - HICK, S.-P. - Developmental malformations produced by radiation.
Am. J. Roentgen, 1953, 69, 272-293 ;

60°) - HOBBS, A.-A. - Fetal tolerance to roentgen rays.
Radiology, 1950, 54, 242-246 ;

61°) - HOLLING and SWORTH, J.-W. - Delayed radiation effects in survivors of the atomic bomb. A summary of the findings of the atomic bomb casualty commission 1947-1959.
New England J. Med., 1960, 263, 481-487 ;

62°) - LEFEBVRE, J. - Action des radiations ionisantes sur le foetus.
Sem. Hôp. Paris (Annales de Pédiatrie), 1961, 37, 2474-2476 ;

63°) - LAMY, M. et JAMMET, M.-L. - Notes cliniques sur un cas d'enfant du radium.
Acta Pédiat., 1948, 36, 208-214 ;

64°) - MAYER, M.-D., HARRIS, W. and WIMPFHEIMER, S. - Therapeutic abortion by means of X-ray.
Am. J. Obst. and Gynec., 1936, 32, 945-957 ;

65°) - MILLER, R.-W. - Delayed effects occuring within first decade after exposure of young individuals to Hiroshima atomic bomb.
Pediatrics, 1956, 18, 1-18 ;

66°) - PENROSE, L.-S. - Effects of radiation on the outcome of prognancy.
Pub. Health, 1957, 71, 217-220 ;

67°) - RONDEROS, A. - Fetal tolerance to radiation.
Radiology, 1961, 76, 454-455 ;

68°) - RUGH, R. and GRUPPE - X irradiation Exencephally.
Am. J. Roentgen, 1959, 81, 1026-1052 ;

69°) - RUSSEL, L.-B. and RUSSEL, W.-L. - Radiation hazards to embryo and fetus.
Radiology, 1952, 58, 369-377 ;

70°) - TRAIN, T.-S.-R. - Malignant disease in children following intra-uterin irradiation.
J. Obst. and Gynec., 1960, 67, 273-275 ;

71°) - YAMAZAKI, J.-N., WRIGHT, S.-W. and WRIGHT, P.-M. - Outcome of pregnancy in woman exposed to atomic bomb in Nagasaki.
Am. J. Dis. Child., 1954, 87, 448-463.

72°) - L'avenir des enfants irradiés in utero. Etude d'une enquête portant sur 5353 observations.
Presse Méd., 1962, 70, 1199-1202.

Raccourcissement de la longévité.

73°) - ALEXANDER, P. and CONNELL, D.-I. - Shortening of the life span of Mice by irradiation with X-rays and treatment with radionimetic chemicals.
Radiation Res., 1960, 12, 38-48 ;

74°) - BRAESTRUP, C.-B. - Post and present radiation exposure to radiologists from the point of view of life expectancy.
Am. J. Roentgen., 1957, 78, 988-992 ;

75°) - COURT-BROWN, W.-M. and DOLL, R. - Expectation of life and mortality from cancer among British radiologists.
Brit. Med. J., 1958, 31, 181-187 ;

76°) - FAILLA, G. and Mc CLEMENT, P. - The shortening of life by chronic whole body irradiation.
Am. J. Roentgen., 1957, 78, 946-954 ;

77°) - HENSHAW, P.-S. - Radiologic life shortening senescence and carcinogenesis.
Radiology, 1962, 78, 523-529 ;

78°) - LAMERTON, L.-F. - An examination of the clinical and experimental data relating to the possible hazard to the individual of small doses of radiation.
Brit. J. Radiol., 1958, 31, 229-239 ;

79°) - SACHER, G.-A. - On the statistical nature of mortality with special reference to chronic radiation mortality.
Radiology, 1956, 67, 250-257 ;

80°) - SELTSER, R. and SARTWELL, P.-E. - Ionizing radiation and longevity of physicians.
J.A.M.A., 1958, 166, 585-587 ;

81°) - SELTSER, R. and SARTWELL, P.-E. - The application of cohort analysis to the study of ionising radiation and longevity in physicians.
Am. J. Publ. Health, 1959, 49, 1610-1620 ;

82°) - VOGEL, H.-M., FRIGERIO, N.-A. and JORDAN, D.-L. - Life shortening in mice irradiated with either fission neutrons or Cobalt G Gamma rays.
Radiology, 1961, 77, 600-611 ;

83°) - WARREN - Longevity and causes of death from irradiation in physicians.
J.A.M.A., 1956, 162, 464-468.

VI - [illegible]

1 - de [illegible] P. -
Genetic hazards of radiation to man - Acta Radiol. 1961,
56, 65-71,
56, 145-156.

2 - [illegible] J.F. -
A comparison of fetal and death in the progeny of radiologists and pathologists.
Am. J. Roentgen. 1955, 73, 467.

3 - [illegible] J.F. -
Genetic considerations in establishing maximum radiation doses.
Radiology, 1957, 52-58.

4 - [illegible] J.F. -
Genetic considerations in establishing maximum radiation doses
Radiology, 1957, 52, 13-23.

5 - [illegible] L. -
An attempt to assess the genetic changes resulting from the irradiation of human population.
Brit. J. Rad. 1956, 29, 270-273.

6 - [illegible] I.I. -
Genetic effects in children and grand children of women treated for infertility and sterility by roentgentherapy.
Radiology, 1953, 72, 518-521.

7 - [illegible] J. -
La radiologie médicale et les mutations artificielles.
Ann. Radiol. 1958, 2, 933-942.

8 - [illegible] J., [illegible] P. -
Irradiation radio-induites chez l'homme et doses de doublement. Sur la validité d'une estimation directe.
C.R. Acad. des Sciences, 1957, 244, 2.425.

9 - LEJEUNE J., TURPIN R. -
Influence de l'âge des parents sur la masculinité des naissances vivants.
CR. Acad. des Sciences, 1957, 244, 1833.

10 - MACHT S.H., LAWRENCE P.S. -
National survey of congenital malformations resulting from exposure to roentgen radiations.
Am. J. Roentgen., 1955, 73, 442-446.

11 - MARCOVICH H. -
Les conséquences génétiques possibles chez l'homme de l'exposition aux radiations ionisantes.
Rev. Franc. Etudes Clin. et Biol. 1956, 1, 1001-1018.

12 - MULLER H.J. -
The manner of dependance of the permissible dose of radiation on the amount of genetic damage. Acta Radiol., 1954, 41, 5-20.

13 - NEEL J.V. -
A study of major congenital defects in japanese infants.
Am. J. Human Genet. 1958, 10, 398.

14 - O.M.D. -
Comité d'experts. Effets génétiques des radiations chez l'homme.
Rapport technique n° 166 (1959).

15 - PLATT R. -
A physician's outlook on genetics.
Brit. J. Radiol., 33, 134-137, 1960.

16 - RUSSEL W.L., RUSSEL L.B., KELLY E.M. -
Radiation dose rate and mutation frequency
Science 1958, 128, 1546-1550.

17 - SCHULL W.J. -
A geneticist looks at the radiation hazard.
Radiology, 1959, 72, 522-529.

18 - SCHULL W.J. and NEEL J.V. -
Atomic bomb exposure and the pregnancies of biologically allated parents.
J. Pub. Health 1959, 49, 1621-1629.

19 - SCHULL W.J., NEEL J.V. -
Radiation and the sex-ratio in man.
Science, 1958, 128 : 343.

20 - TURPIN R. et LEJEUNE J. -
Aberrations chromosomiques et maladies humaines.
Rev. Fr. et Clin. Biol. 1960, 5, 341.

21 - TURPIN R. et LEJEUNE J. - L'énergie ionisante et l'avenir du patrimoine héréditaire humain, Pathol. et Biol. (Sem. Hôp. Paris) 1956, 3, 183-187.

22 - TURPIN R., LEJEUNE C., RETHORE M.O. - Etude de la descendance des sujets traités par radiothérapie pelvienne.
Acta genet. et Stat. Med. 1956, 6, 204-216.

VII - REDUCTION DE L'IRRADIATION

I - GENERALITES

A - TECHNIQUES RADIOLOGIQUES

1 - EAGLESHAM, D. C. -
Factors determining quality in a radiograph. with a an discussion of films faults and artefacts.
J. Can. Ass. Radiol., 1960, 11, 67-74.

2 - BOLDINGH, W.H. -
Quality and choice of Potter Bucky grids.
Acta Radiol., 1961, 55, 225-236.
1961, 56, 202-209.

3 - MASSIOT, A., -
Les facteurs de qualité de l'image radiologique. 6ème Congrès des Radiologistes de Culture Latine, 23-28 Juillet.
Masson, éditeur, Paris, 1961.

4 - MATTSSON, O. -
Practical photographic problems in radiography, with special reference to high voltage technique.
Acta Radiol., Suppl. 120, 1955

5 - MATTSSON, O. -
Some studies on primary and secondary screening in diagnostic up to 200 kw.
Acta Radiol., 1956, 46, 621.

6 - MATTSSON, O. -
Site as an influence upon the density of contrast medial.
Acta Radiol., 1957, 47, 361-364.

7 - MORGAN, R.M. -
An analysis of physical factors controlling the diagnostic quality of roentgen images.
Am. J. Roentgen., 1945, 54, 395.

8 - SPIEGLER, G., OLLERENSHAW, R. and MACEY, R. -
High contrast : a potential source of radiographic error.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 481-488.

9 - SEEMANN, H.E. -
Physical factors wich determine roentgengraphic contrast.
Am. J. Roentgen., 1958, 80, 112-116.

10 - SEEMANN, H.E. - and SPLETTSTOSSER, H.R. -
The effect of kilovoltage and grid rate on subject contrast in radiography.
Radiology, 1955, 64, 572-579.

11 - TUDDENHAN, W.J. -
The visual physiology of roentgen diagnosis.
Am. J. Roentgen., 1957, 78, 116-123.

12 - VAN DER PLANTS, G.J. -
Medical X-ray technique - 1 vol. 484 p.
Philips Technical Librairy 1961.

B - REDUCTION DES DOSES

13 - ARDRAN, G.M. -
Dose reduction in diagnostic radiology.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 436-438.

14 - ARDRAN, G.M. and CROOKES, H.E. -
A comparison of radiographic techniques with special reference to dosage.
Brit. J. Radiol., 1953, 26, 352-357.

15 - ARDRAN, G.M. and CROOKES, H.E. -
The reduction of radiation dose in chest radiography.
Brit. J. Radiol., 1952, 25, 299-309.

16 - BRAESTRUP, C.B. -
X-ray protection in diagnostic radiology.
Radiology, 1942, 38, 207-216.

17 - CHASSAGNE -
Contribution à l'étude des doses reçues au cours des examens radiologiques.
Thèse Paris, 1959.

18 - COLIEZ, R., DESGREZ, H. et DOGNON, A. -
La protection contre les radiations ionisantes. Enquêtes dans les services hospitaliers.
Bull. Ac. Nat. Méd., 1958, 42, 335-338.

19 - HENNY, G.C. -
Radiation protection problem in diagnostic roentgenology.
Am. J. Roentgen., 1955, 73, 649-654.

20 - HOL, R. and KOREN, K. -
Protection measures in roentgen diagnostic with reference to dose inducing mutations.
Acta Radiol., 1953, 44, 471-478.

21 - MAYNEORD, W.V. -
Some problems of radiation protection.
Brit. J. Radiol., 1951, 24, 286 et 525.

22 - PIZON, P. -
Protection en radiologie médicale.
Presse Méd., 1955, 63, 1438-1441 et 1516-1517.

23 - PIZON, P. -
La protection en radiologie médicale.
Presse Méd., 1957, 65, 849-859.

24 - SANDERS, A.P. -
Roentgen or gamma-ray shielding in radiation protection.
Am. J. Roentgen. 1958, 79, 532-536.

25 - SILVER, P.S., HILLS, T.K., and STANDFORT, R.W. -
A method of reducing exposures in indirect radiography (fluorography).
Brit. J. Radiol., 1953, 26, 136-138.

26 - TAYLOR, L.S. -
Practical suggestion for reducing radiation exposure in diagnostic examination.
Am. J. Roentgen., 1957, 78, 983-987.

II - TECHNIQUES PARTICULIERES -

A - HAUTS KILOVOLTAGES ET FILTRATION

27 - DESGREZ, H. et MICHEL, J.R. -
Intérêt des hauts kilovoltages pour la pose des radiographies pulmonaires.
Presse Méd., 1957, 65, 125.

28 - ETTER, L.E., KAMMER, A.G., DATTOLI, J.A., GEMDER, H., GRIFFITH, C.R. and CROSS, L.C. -
Radiation reduction by combined copper and aluminium filtration in radiography.
Radiology, 1959, 72, 863-867.

29 - GIFFORD, D. and TRUSCOTT, D.E. -
The use of additional filtration in medical radiography.
Brit. J. Radiol., 1954, 27, 113-116.

30 - GOLDMAN, M.L., and SHULTZ, H.M. -
A simple method for reducing the radiation hazard associated with photofluorography.
Am. Rev. Tuberc., 1958, 77, 923-930.

31 - NEMET, A., COX, W.F. and HILLS, T.H. -
The contrast problem in high kilovoltage medical radiography.
Brit. J. Radiol., 1953, 26, 185-192.

32 - SANDERS, A.P., SHARPE, K., CAHOON, J.B., REEVES, R.J., ISLEY, J.K. and BAYLIN, G.J. -
Radiation dose to the skin in roentgen diagnostic procedures. Optimum KVP. Tissue measurement techniques.
Am. J. Roentgen, 1960, 84, 359-368.

33 - STANFORD, R.W. -
The use of cones and filters to reduce patient dosage in diagnostic radiology.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 497-499.

34 - TROUT, E.D., KELLEY, J.P. and CATHEY, G.A. -
The use of filters to control radiation exposure to the patient in diagnostic roentgenology.
Am. J. Roentgen., 1952, 67, 946-962.

35 - TUDDENHAM, W.J. - HALE, J. and PENDERGRASS, E.P. -
Supervoltage diagnostic roentgenology : preliminary report.
Am. J. Roentgen, 1953, 70, 759-764.

36 - TUDDENHAM, W.J. - GIBBONS, J.F., HALE, J. and PENDERGRASS, E.P. -
Supervoltage and multiple simultaneous roentgenography.
New technies for roentgen examination of chest.
Radiology, 1954, 63, 184-190.

B - PROTECTION DES ORGANES CRITIQUES

37 - ABRAM, E. and WILKINSON, D.M. -
Gonadal protection from X radiation for the female.
Brit. J. Radiol., 1958, 31, 335-336.

38 - ARDRAN, G.M. and KEMP, F.H. -
Protection of the male gonade in diagnostic procedures.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 280.

39 - BENES, V., KOSEK, P. and MICHAL, V. -
Instrumental and technical notes : reduction of Gonad dose in the radiography of the hips in infancy.
Brit. J. Radiol., 1961, 34, 818.

40 - BOURDON, R., BESSON, J., MASSARE, C. et DUCOUT M. -
Le problème de la protection dans les examens radiologiques dirigés : à propos de la pneumoarthrographie du genou.
Gaz, Méd. France, 1960, 1107-1108.

41 - BRETLAND, P.M. -
Relative effectiveness of testicular shielding in diagnostic radiology.
Acta Radiol., 1959, 51, 465-472.

42 - CLAYTON, C.G., FARMER, F.T. and WARRICK, C.K. -
Radiation doses to the foetal and maternal gonads in obstetric radiography during late pregnancy.
Brit. J. Radiol., 1957, 30, 291-294.

43 - EPSTEIN, B.S., -
An adjustable sheilding device for use in diagnostic roentgenology.
Radiology, 1960, 75, 458-459.

44 - ETTER, L.E., CHASLER, C.N., and CROSS, L.C. -
Reduced gonadal irradiation in prenatal chest Roentgenographic examination.
Am. J. Roentgen., 1960, 83, 357-362.

45 - HODGES, P.C., STRANDJORD, N.M., and Mc. CREA, A. -
A testicular shield.
J.A.M.A., 1958, 167, 1239-1240.

46 - KENDIG, T.A. -
Reduction of fetal irradiation in pelvimetry.
Radiology, 1960, 75, 608-611.

47 - MAGNIN, P. -
Comment réduire les risques d'irradiation du foetus au cours des radio-pelvimétries.
Presse Méd., 1959, 67, 254-256.

48 - MAGNUSSON, W. -
A device for the protection of the testicles in roentgen examination of adjacent organs and bones.
Acta Radiol., 1952, 37, 288.

49 - PEREZ, R. -
Les risques de l'irradiation de la glande thyroïde de l'enfant : intérêt de l'iode 132 pour l'étude de la fonction thyroïdienne à cet âge.
Ann. Radiol., 1959, 2, 487-489.

50 - STEIN, J., POPPEL, M.N., KRUEGER, E.G., and MALSKY, S. -
Portable shield for radiation protection during angiography.
Radiology, 1956, 66, 887-889.

51 - WARRICK, C.K., and FORSTER -
A protection shield for use in chest radiography of children.
Brit. J. Radiol., 1959, 32, 373.

52 - WITHEHOUSE, W.N., SIMONS, C.S., and EVANS, T.N. -
Reduction of radiation hazard in obstetric roentgenography.
Am. J. Roentgen, 1958, 80, 690-695.

C - TRAITEMENT DES FILMS.

53 - CLARKE, W.G., -
The use of standard and high definition intensifying screen in chest radiography.
Brit. J. Radiol., 1954, 27, 414-416.

54 - FISHER, J.F. and GERSHON COHEN, J. -
Television techniques for contrast enhancement and color translation of roentgenograms.
Am. J. Roentgen, 1958, 79, 342-347.

55 - GERSHON-COHEN, J. and FISHER, J.P. -
Contrast enhancement with television technics : gallbladder.
Radiology, 1958, 70, 390-391.

56 - GERSHON-COHEN, J. and FISHER, J.F. -
Television contrast expansions of single roentgenograms.
Am. J. Roentgen, 1959, 81, 325-327.

57 - GILORMINI, L. -
Présentation de films traités par un renforçateur colorant permettant de réduire le temps de pose de 30 %.
J. Radiol., 1957, 38, 717.

58 - GOULD, D.M., and WALLOCH, B.L. -
An improved logetronic of copying roentgenograms.
Am. J. Roentgen, 1958, 79, 885-887.

59 - HODGES, P.C. -
The present status of phototiming.
Am. J. Roentgen., 1957, 77, 1-8.

60 - JUTRAS, A. et FISCHGOLD, H. -
Amélioration et reproduction de radiographies par modulation électronique, le Logetron.
Masson, éditeur, 1 vol., 1958.

61 - PIZON, P. -
La copie des radiographies (la tireuse logetronic).
Presse Méd., 1957, 65, 1723-1724.

62 - SAINT JOHN, E.G., and CRAIG, D.R. -
Logetronography.
Am. J. Roentgen, 1957, 78, 124-130.

D - RADIOSCOPIE CONVENTIONNELLE.

63 - LAME, E.L. -
A simple method of reducing the fluoroscopic dose rate.
Am. J. Roentgen. 1961, 86, 594.

64 - LEVY, L.A., WEST, D.W. and HILL, C.G.A. -
Factors affecting the performance and efficiency of fluoroscopic screens.
Brit. J. Radiol., 1955, 28, 206-209.

65 - MEYERS, P.H. and BARR, R.W. -
Reduction of radiation to the patient during fluoroscopy.
Am. J. Roentgen., 1959, 82, 1076-1080.

66 - SHERMAN, R.S. and CAHAN, W.G. -
Isolated fluoroscopy : an evaluation.
New Engl. J. Med., 1958, 259, 622-625.

E - AMPLIFICATEURS DE BRILLANCE, RADIOCINEMA ET ENREGISTREMENT MAGNETIQUE.

67 - DREISINGER, F.W. and GENSINI, G.G. -
A report on the use of grids for fluoroscopy. Image intensifiers and cine-radiography.
Radiology, 1961, 77, 586.

68 - CAMPBELL, J.A., KLATTE, E.C. and SHALKOWSKI -
Factors influencing image quality in cinercentgenography.
Am. J. Roentgen. 1960, 83, 345-353.

69 - CHERIGIE, E. et PROUX, Ch. -
L'amplificateur de brillance et ses applications.
Ann. Radiol., 1958, 1, 163-177.

70 - DESGREZ, H. et NOIX, M. -
Les amplificateurs de brillance, leur intérêt en radiologie.
J. Radiol., 1957, 38, 696-710.

71 - DESGREZ, H. et NOIX, M. -
Fonctionnement et application radiologiques des amplificateurs de brillance.
Sem. Hôp. Paris, 1957, 33, 349-356.

72 - DETRIE, P. -
La radiocinématographie.
Presse Méd., 1955, 63, 605.

73 - FEDDEMA, J. -
Some possible diagnostic application in cineradiography.
Brit. J. Radiol., 1957, 28, 217-220.

74 - GIRDANY, B.R., GAITHER, E.S., DARLING, D.B. -
Large screen image amplification with closed circuit television employing television tape recorder.
Radiology, 1961, 77, 286-291.

75 - HODGES, P.C. and MOSELEY, R.D. -
Cinefluorography employing split - image television type image amplifiers.
Radiology, 1959, 73, 548-556.

76 - JUTRAS, A. -
Telercentgen diagnosis by means of video tape recording.
Am. J. Roentgen, 1959, 82, 1099-1102.

77 - JUTRAS, A. -
Radiodiagnostic des temps prochains.
Ann. Radiol., 1959, 2, 523-527.

78 - JUTRAS, A. et DECKETT, G. -
Le radio-diagnostic à distance.
Téléfluoroscopie et cinéfluorographie.
Union Méd. Canada, 1959, 86, 1284-1289.

79 - LUSTED, L.B. -
Current technical problems in cinefluorography.
Radiology, 1959, 73, 527-530.

80 - MILLER, E.R. -
Cinefluorography in practice.
Radiology, 1959, 73, 560-565.

81 - RAMSAY, G.H.S., WATSON, J.S., STEINHAUSEN, T.R., THOMSON, J.J., DREISINGER, F. ans WEINBER, G.S. -
Cinefluorography, progress report on technical problems dosage factors and clinical impressions.
Radiology, 1958, 79, 888-890.

F - LE PHENOMENE D'ELECTRO-LUMINESCENCE.

82 - DESTRIAU, G. et DESTRIAU, P. -
Electroluminescence, électro-photoluminescence et perspectives d'avenir en radiologie. Ann. Radiol. , I958, I, 767-787 ;

83 - FOWLER, J.F. -
The fundomental limits of information content in solid state image intensifying panels compared with other intensifying systems.
Brit. J. Radiol., 1960, 33, 352-357.

84 - HENDERSON, S.T. -
The prospects for solid state intensifying screens.
Brit. J. Radiol., 1960, 33, 357-358.

85 - KAZAN, B. -
A solid state amplifying fluoroscope screen.
Am. J. Roentgen., 1958, 79, 709-719.

VIII - ACCIDENTS LIES AUX PRODUITS DE CONTRASTE

1 - AAGAARD, P. and DAVIDSEN, H.G. -
Complications in percutaneous arteriography.
Acta Chir. Scand., I960, II9, I86-I9I .

2 - BERGMAN, F. GORTON, G., NORMAN, O. and SJOSTEDT, P. -
Foreign body granulomas following hysterosalpingography with a contrast medium containing carboxymethyl cellulose.
Acta. Radiol., I955, 43, I7-29 ;

3 - BETOULIERES, P. , TEMPLE, J.P.. et JANICOT, J.Y.-
La radiculographie lombo-sacrée au Methiodal (notes de technique d'après 300 examens).
J. Radiol., I960, 4I, 447-454 ;

4 - BONTE, G., DELFOSSE, C. et CECILLE, J.P.-
Myélographie gazeuse par voie lombaire.
J. Radiol., I960, 4I, 563-57I.

5 - BRIAND, L, CHALUT, J., FAURE, C. et MAINGUET, P. -
Accidents, indications et contre-indications des différentes méthodes d'aortographie abdominale.
J. Radiol., I960, 4I, 6I7.

6 - BRUNTON, G.J.-
Rétroperitoneal emphysema as a complication of barium enema.
Clin. Radiol., I960, 11, I97-I99.

7 - CARON, J. -
Les accidents de l'aortographie.
Ann. Radiol. , I958, 1 , 269-272 .

8 - DAVIES, F.L. -
Effect of unabsorbed Radiographic Contrast studies on the central nervous system.
Lancet, I956, 2 , 747-748.

9 - de CARLO, Jr.J.-
Complications associated with diagnostic barium enema.
Surgery, I960, 47, 965-969.

I0 - DOTTER, C.T. and JACKSON, F.S.-
Death following angiocardiography.
Radiology, I950, 54, 527-533 ;

II - DOTTER, C.T., STRAUBE, K.R. and STRAM, D.C.-
Circulatory arrest : Manual and Mechanical Means fo emergency management.
Radiology, I96I, 77, 426.

I2 - DUNBAR, J.S., SKINNER, G.B., WORTZMAN, G. and STUART, J.R. -
An investigation of effects of opaque media on the Lungs with comparison of barium sulfate, lipiodol and Dionosil.
Am. J. Roentgen., I959, 82, 902-906.

I3 - EDLING, N.P. and HELANDER, C.G.-
On renal damage due to aortography and its prevention by renal tests - with reports of five cases of severe renal domage.

I4 - ELDRDGE, F.L., HULTGREN, H.N., LIU, C.K. and BLUMENFELD, M.-
A study of the clinical reactions to venous angiocardiography.
New Engl. , J. Med., I955, 252, 259-263.

I5 - ERICKSON, T.C. and VAN BAAREN, H.J.-
Late meningeal reaction to ethyl iodophenyl undecylate used in myelography : report of a case that terminated fatally.
J.A.M.A., I953, I53, 393.

I6 - FERRAND, J., ROBERT d'ESHOUGUES, J., LAMY, R. et BOTELLA, R. -
Sur la radiculographie lombo-sacrée au Méthiodal (A propos de nos 300 premières explorations).
J. Radiol., I96I, 42, 838-843).

I7 - FISCHER, W.M. and ECKSTEIN, J.W. - Comparison of cerebral angiographic contrast media by their circulatory effects.
Am. J. Roentgen. , I96I, 86, I66-I77.

I8 - FRIMANN-DAHL J.-
The administration of barium orally in acute obstruction: advantages and risks.
Acta. Radiol., I954, 42, 285-295.

I9 - FUNKQUIST B. and OBEL, N. -
Effect on the spinal cord of subarachnoïd infection of water-soluble contrast medium. An experimental study in dogs.
Acta Radiol., I96I, 56, 449.

20 - GREENBERG, B.E.-
Faulty contrast medium injection in percutaneous ventricular aortography.
Radiology, I960, 75, 85-90.

21 - GUDBJERG, C.E. and CHRISTENSEN, J. -
Dissection of the aortic wall in retrograde lumbar aortography.
Acta Radiol., 1961, 55, 364-368.

22 -HIIBISH, T.F. and HERDT, J.-
Complications of selective angiocardiography.
Radiology, 1960, 75, 197-206.

23 - HOL, R. and SKJERUEN, J.-
Spinal cord damage in abdominal aortography.
Acta Radiol., 1954, 42, 276-284.

24 - JOHNSON, P.M. and IRWIN, G.L.-
An evaluation of the pharmacological hazards resulting from the use "Visciodol" in bronchography.
Radiology, 1959, 72, 816-828.

25 - KENNET, A., GRAINGER and CLIVE ABER -
Dissection of the superior mesenteric artery during aortography with recovery : report of a case.
Brit. J. Radiol., 1961, 34, 265-268.

26 - KNOEFEL, P.K.-
Radiopaque Diagnostic Agents.
1 vol. 157 p., Charles C. Thomas. Publisher 1961, Springfield - Illinois.

27 - LASSER, E.C., RICHARD, S.F., FUJIMAGARI, T. et TRIPP, W.N.-
The signifiance of protein binding of contrast media in roentgen diagnosis.
Am. J. Roentgen., 1962, 87, 338.

28 - LEFEBVRE, J., FAURE, C., BENNET, J. et SAVARY, M.-
L'artériographie rénale dans l'hypertension artérielle.
Ann. Radiol., 1960, 3, 753-771

29 - LEUCUTIA, T.-
Multiple myelome and intravenous pyelography
Amer. J. Roentgen., 1961, 85, 187-189

30 - LINDBLOM, K.-
Complications of myelography by abrodil.
Acta Radiol. , 1947, 28, 69-73.

31 - LUCE, J.C., LEITH, W. ans BURRAGE, W.S.-
Pantopaque meningitis due to hypersensivity.
Radiology, 1951, 57, 878 ;

32 - MEYERS, M.I. and JACOBSEN, G.-
Death following intravenous carbon dioxide angiocardiography.
Radiology, 1960, 77, 295-296.

33 - MURRIS, S.E., LASSER, E.C., FISCHER, B., LEE, S.H. and GRANKE, R.C.-
Comparative expérimental approch to contrast material in renal artériography.
Radiology, 1961, 77, 764.

34 - NELSON, S.W., CHRISTOFORIDIS, A and PRATT, P.C.-
Barium sulfate and bismuth subcarbonate suspensions as bronchographic contrast media.
Radiology, I959, 72, 829-838.

35 - NESBIT, R.M. and MORROW, J.W. -
Clinical experiences in excretory pyelography ; a comparative study of different contrast media (in 3.454 cases).
Am.J. Roentgen., I959, 82, 849-852.

36 - PENDERGRASS, E.P., HODGES, P.J., TONDREAU, R.L., POWELL, CC. and BURDICK, E.D.- Further consideration of deaths and infavorable sequelae following the administration of contrast media in urography in the United States.
Am. J. Roentgen., I955, 74, 262-287.

37 - PENDERGRASS, H.P., TONDREAU, R.L., PENDERGRASS, E.P., RITCHIE, D.J., HILDRETH, E.A. and ASKOVITZ, S.I.-
Réactions associated with intravenous urography : historical and statistical review.
Radiology, I958, 7I, I-I2.

38 - PIZON, P. -
Accidents de l'urographie intraveineuse
Presse Médicale, I956, 64, II07-III2.

39 - PYLE, R. and SAMUEL, E.- An evaluation of the hazards of barium enema examination.
Clin. Radiol. , I960, II/3, I92-I96.

40 - READ, R.C.-
Cause of death in cardioangiography.
J. Thoracio, Surg., I959, 38, 685-695.

4I - ROMAN, P.W., WAGNER, J.H. and STEINBACH, F.H.-
Massive fetal embolism during barium enema study.
Radiology, I952, 59, I90-I92.

42 - ROSENBERG, L.S. and FINE A.-
Fatal venous intravasatron of barium during a barium enema
Radiology, I959, 73, 77I-773.

43 - SCHOBINGER, R.A., KRUEGER, E.G. et SOBEL, G.L.-
Comparison of intraosseous vertebral venography and pantopaque myelography in the diagnosis of surgical conditions of the lumbar spine and nerve roots.
Radiology, I96I, 77, 376.

44 - SICARD, J.A. et FORESTIER, J.-
Méthode générale d'exploration radiologique par l'huile iodée (lipiodol).
Bull. et Mém. Soc. Méd. des Hôp. de Paris, I922, 46, 463.

45 - SWARTZ, L.W.- Barium granuloma of rectum following barium enema.
Am. J. Surg., 1955, 90, 802-804.

46 - TINGAUD, DAULY et MAUPIN -
A propos d'un cas de paraplégie après aortographie abdominale.
J. Méd. Bordeaux, 1961, 138, 1294-1304.

47 - WALTHER, O. -
On the question of embolism in hysterosalpingography with lipiodol.
Acta Radiol., 1939, 20, 457-468.

48 - WEIGEN, J.F. and THOMAS, S.F.-
Réactions to intravenous organic iodine compounds and their immediate treatment.
Radiology, 1958, 71, 21-27.

49 - WILLSON, J.K.U., RUBIN , P.S. and Mc GEE, T.M.-
The effects of barium sulfate on the lungs, a clinical and experimental study.
Am. J. Roentgen., 1959, 82, 84-94.

IX - RISQUE RADIOLOGIQUE ET RISQUE MEDICAL

A/ - L'irradiation naturelle, artificielle et médicale.

1°) - BOURGUIGNON, G. et DOGNON, A. - A propos des appareils à rayons X dits "radiochausseurs".
Bull. Ac. Nat. Méd., 1958, 142, 344-345 ;

2°) - BOYER, J. et BLANCHER, G. - Progrès accomplis et à accomplir dans la protection contre les radiations ionisantes.
Presse Méd., 1959, 67, 657-659 ;

3°) - BRAESTRUP, C.-B. and MOONEY, R.-T.-X.Ray emission from television sets.
Science, 1959, 130, 1070-1074 ;

4°) - BRUCER, Marshall - Levels of radiation.
J.A.M.A., 1961, 175, 36-39 ;

5°) - BERNARD, J. - Etat de la médecine.
Buchet Chastel-Corréa, édit., Paris, 1960, 1 vol. 194 p. ;

6°) - BRUCER, M. - Radiation hysteria.
J.A.M.A., 1961, 176, 680 ;

7°) - BUCHET, R. et LAFAY, Y. - La place des rayons X utilisés à des fins médicales dans l'irradiation artificielle ou les dangers d'une "radiophobie excessive".
Méd. de Réserve, 1961, 6, 175-180 ;

8°) - BUCHET, R., ANSEMANT, A. et ROBIEUX, J. - La radioscopie est-elle utile ?
Méd. de Réserve, 1961, 57, 181-183 ;

9°) - BUREAU, R. - Diagnostic et traitement précoce de la luxation congénitale de la hanche.
Bull. Féd. Soc. Gyn. Obst., 1957, 9, 242 ;

10°) - COLIEZ, R. - La convention électro-radiologique de la Seine.
Presse Méd., suppl. 1960, 45, 409 ;

11°) - DUNHAM, C.-L. - Radiation health program as they relate to epidemiology.
J. Pub. Health, 1959, 49, 1607-1609 ;

12°) - ESCOFFIER-LAMBIOTTE - Un problème médico-légal, la maladie professionnelle par irradiation.
Le Monde, 20 Juillet 1961 ;

13°) - ENTERLINE, P.-E. and KORDAN, B. - A controlled evaluation of man surveys for tuberculosis and heart disease.
Pub. Health Rep., 1958, 73, 867-875 ;

14°) - GUSTAFSON, P.-F. - Assement of the radiation dose due to fall-out.
Radiology, 1960, 75, 282-288 ;

15°) - GILLON, J.-J. et BERNIER, J.-J. - Les rayons et nous.
Conc. Méd., 1958, 80, 3279-3280 ;

16°) - GOLDMAN, M. - Large scale max X-ray compaigns.
Brit. J. Radiol., 1960, 33, 776-778 ;

17°) - HAMMER-JACOBSEN, E. and MUNKNER, T. - Foetal malformation in a techniciain at a clinical radioisotope Laboratory.
Brit. J. Radiol., 1961, 34, 351-354 ;

18°) - HARRIS, P.-S. - Space radiations : natural and man-made.
Radiology, 1962, 76, 532-540 ;

19°) - JUTRAS, A. - Radiodiagnostic des temps prochains.
Ann. Radiol., 1959, 2, 523-528 ;

20°) - KOUPERNIK, C. - Et si le sphinx niait ?
Conc. Méd., 1958, 80, 5131-5132 ;

21°) - LEFEBVRE, J. et SERRA, R. - A propos des doses de rayons X reçues par les enfants au cours des examens radiologiques.
Arch. Fr. Péd., 1957, 4, 293-298 ;

22°) - Mc NEILL, K.-G. and JOHNS, H.-E. - Contributions to the natural background dose due to Cs 137 arising from fall-out.
J. Canad. Ass. Radiol., 1960, 11, 11-14 ;

23°) - MAYER, M. - L'intérêt clinique de la radiopelvimétrie en pratique hospitalière.
Sem. Hôp. Paris, 1957, 33, 1812-1814 ;

24°) - NEWELL, R.-R. - Radiation hazard in industry.
J.A.M.A., 1961, 75, 227-239 ;

25°) - POSNER, E., Mc DOWELL, L.-A. and CROSS, K.-W. - Mass Radiographie and cancer of the lung.
Brit. Méd. J., 1959, 1213-1218 ;

26°) - RICHE, J.-M. - Responsabilité du médecin utilisant les radiations ionisantes.
Ann. Radiol., 1962, 5, 245-253 ;

27°) - THOYER-ROZAT, J., BRIZARD, J. et PETIT, D. - Le dépistage systématique à la naissance de la luxation congénitale de la hanche.
Sem. Hôp. Paris, 1960, 36, 1985-1988 ;

28°) - TUBIANA, M. - Place de la physique en radiologie.
Ann. Radiol., 1959, 2, 7-10 ;

B. - La fixation des normes de sécurité.

29°) - C.E.E.A. - Communauté Européenne de l'Energie Atomique. Directives fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des radiations ionisantes. J. Officiel des Communautés Européennes, 20 fév. 1959 et J. Radiologie 40, 1959, n° 3-4, pp. XIV-LII ;

30°) - C.I.P.R. - Recommandations de la Commission Internationale de Protection Contre les Radiations (au 1er Déc. 1954). J. Radiol., 1955, 36, supplément n° 10 bis et Brit. J. Radiol., supplément n° 6 (1955) ;

31°) - C.I.P.R. - Report on amendments during 1956 to the recommendations of the international Commission on Radiological Protection. Acta Radiol., 1957, 48, 493-495 et Radiology, 1958, 70, 261-262 ;

32°) - C.I.P.R. - Recommendation adopted September 9, 1958. Pergamon Press éd., London 1958 ;

33°) - Comité de Contrôle des Appareils de Radiologie et d'Electrologie Médicale. J. Radiol., 1960, 41, 3-4, XII-XXXIV ;

34°) - Ministère de l'Education Nationale - Dépistage radiologique en milieu scolaire : mesures et précautions à prendre pour l'utilisation des rayons X. Circulaire du 23 Sept. 58. Presse Méd., 1958, 82, 428 ;

35°) - Ministère de la Santé Publique - Recommandations générales visant la protection contre les radiations. Circulaire du 3 Juin 1957, J.O. 11 Juillet 1957 - 6825-6832. Presse Méd., 1957, 65, 1489-1494 ; J. Radiol., 1957, 38, 9 10, X-XIII ;

36°) - Ministère de la Santé Publique - Agrément des installations radiologiques. J.O. 20 Avril 1962 ; Presse Méd., 1962, suppl. n° 23-237 ;

37°) - LAUGIER, A. - Les nouvelles recommandations de la C.I.P.R. Ann. Radiol., 1960, 3, 662-667 ;

38°) - PIZON, P. - Textes fondamentaux et données numériques essentielles concernant la protection contre les radiations ionisantes. Presse Méd., 1961, 69, 2101-2104 ;

C - Le risque thérapeutique et épidémiologie générale.

39°) - ABRAHAM, C. et THEDIE, J. - Le prix d'une vie humaine dans les décisions économiques.
Revue Française de Recherche Opérationnelle, 1960, 4, 157-168 ;

40°) - AUSSANAIRE, M. et FREZAL, J. - Conséquence des infections matérielles pour le foetus.
Rev. Prat., 1957, VII, 2961-2967 ;

41°) - BERNARD, J. - Anémies, leucopénies, thrombopénies provoquées par des médicaments.
Presse Méd., 1962, 70, 531-533 ;

42°) - CHASSAGNE, P. - Des conséquences pour l'enfant de certaines thérapeutiques anté- ou prénatales.
Thérapie, 1961, 16, 507 ;

43°) - CONTE - Leçon inaugurale.
Presse Méd., 1961, 69, 797-801 ;

44°) - DUMONT, M. - Prophylaxie des malformations congénitales.
Sem. Hôp. Paris, 1961, 37, 1113-1116 ;

45°) - DEBRE, R. - Les malformations congénitales, problèmes médicaux, psychologiques et sociaux.
Sem. Hôp. Paris, 1961, 37, 3451-3455 ;

46°) - EHRENBERG, L., Von EHRENSTEIN, G. and HEDGRAN, A. - Gonad temperature and spontaneous mutation rate in man.
Nature, 1957, 180, 1433-1434 ;

47°) - FREZAL, J. et REY, J. - Quelques aspects de la pathologie de l'enfant d'origine génétique.
Presse Méd., 1961, 69, 1029-1031 ;

48°) - HUEPER - Carcinogens in the human environment.
Arch. Path., 1961, 71, 237-267 ; 355-380 ;

49°) - LACASSAGNE, A. - Le rôle des hormones dans la cancérisation.
Sem. Hôp. Paris, 1961, 37, 1739-1742 ;

50°) - LAMY, M., FREZAL, J. et REY, J. - La fréquence des malformations congénitales.
Sem. Hôp. Paris, 1961, 37, 3456-3462 ;

51°) - LAURENCE, G. - Le risque imprévisible.
Rev. Prat., 1955, 5, 1081-1082 ;

52°) - LAURENCE, G. - Risque opératoire et maladie post-opératoire.
Rev. Prat., 1955, 5, 1009-1020 ;

53°) - LELONG, M. et coll. - Journée d'Etude et d'Information sur le nouveau-né, le prématuré et le nourrisson. Sem. Hôp. Paris (Annales Péd.), 1961, 37, 2467-2485 ;

54°) - SCHABAD, L.-M. - Les substances cancériques dans le milieu ambiant et les possibilités d'une protection essentielle. Bull. Ass. Fr. Cancer, 1960, 47, 119-125 ;

55°) - TOURNAY, R. - Pathologie de l'injection intraveineuse. Conc. Méd., 1957, 79, 4997-5087 ;

56°) - VILAIN, R. - Les nécroses d'origine médicamenteuse. Problèmes pathogéniques et médico-légaux. Conc. Méd., 1960, 60, 2775-2780.

AGEMP
POLYCOPIE
8, rue Dante
PARIS-V°
Téléphone : ODÉon 58-90